

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН

«На правах рукопису»

УДК _____

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

_____ Олександр ОХРИМЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему _____ Гібридний верстат для обробки крайок композитних _____
матеріалів _____

Виконав (-ла): студент (-ка) _____ ІІ курсу , групи МВ – 81мн

_____ Галкін Олександр Олегович

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Науковий керівник _____ д.т.н., проф. Саленко О.Ф.

(посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з розділу _____

(посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент: _____ д.т.н., професор Петраков Ю.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ - 2020

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського”
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання верстатів та машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Спеціалізація «Технології комп'ютерного проектування верстатів, роботів і машин»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

О.В. Шевченко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2019 р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Галкіну Олександр Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Гібридний верстат для обробки крайок композитних матеріалів

науковий керівник дисертації Саленко О.Ф., дтн. професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “04” березня 2020 року № 800-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: розробка конструкції верстату для струминно-лазерної обробки

4. Предмет дослідження: гібридний верстат струминно-лазерного впливу для обробки крайок композитного матеріалу

5. Перелік завдань, які потрібно розробити огляд принципів гібридизації обробки; аналіз конструкцій верстатів для гібридної обробки, опрацювання технічних рішень заданих вузлів верстату; розрахунок напружено-деформованого стану заданих вузлів.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 1) Загальний вигляд верстату; 2) Привод по окремій координаті; 3) Робочий стіл з приводом; 4) Комбінована головка гібридного впливу; 5) Кінематична схема верстату;

6) Схема гібридного впливу на композит; 7) Розподіл температурних полів у оброблюваному матеріалі

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк вико- нання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд сфер використання композитних матеріалів	2.09 – 13.09	
2	Огляд верстатів для гібридної обробки	16.09 – 27.09	
3	Розробка кінематичної схеми верстату	30.09 – 19.10	
4	Розрахунок та вибір параметрів верстату	21.10 – 18.01	
5	Розробка конструкції стенду. Створення 3D-моделі для наступного дослідження приводних вузлів.	20.01 – 13.03	
6	Дослідження приводів верстату	16.03 – 20.04	
7	Оформлення креслень і ПЗ	11.05 – 15.05	

Студент _____ Галкін О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації _____ д.т.н., проф. Саленко О.Ф.

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Робота містить 85 сторінок, 51 рисунок і 6 таблиць, список літератури з 62 джерел.

Актуальність теми. З кожним роком композитні матеріали займають більше значення серед нових матеріалів широкого вжитку у всіх сферах людської діяльності. Оскільки поєднують в собі цілий комплекс властивостей, поєднуючи які ми маємо змогу отримувати оптимальні конструкції. Широкого застосування композити здобули в будівництві, авіа- і космобудуванні, машинобудуванні. Для існуючих потреб авіа- і космо-промисловості обробка композитних матеріалів займає вагоме значення оскільки композитні матеріали використовуються, як і в фюзеляжі, так і в обшивці літальних апаратів. Отож, точність обробки крайок композитного матеріалу займає першочергове значення, оскільки напряму впливає на міцність і цілісність конструкції.

Мета і задачі дослідження. Мета даної роботи – розробка гібридного верстату для обробки крайок композитних матеріалів. Забезпечення більш ефективного оброблення крайок композитних матеріалів і синергію дій, яка буде проявлятися в певних змінах властивостей поверхневого шару. Використання кількох методів обробки вимагає зменшення кількості засобів орієнтування оброблюваної заготовки.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі:

1. Огляд принципів гібридизації обробки та аналіз конструкцій верстатів для гібридної обробки .
2. Планування експериментальних досліджень.
3. Розробка кінематичної схеми, компоновки та складального креслення верстата.
4. Розробка конструкцій столу, робочої головки та приводів їх переміщення.

5. Виконання дослідження динаміки та напружено-деформованого стану вузлів верстата.
6. Розрахунки вузлів та деталей стенду.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновано оригінальну конструкцію верстата для різки композитних матеріалів з достатньо високою точністю та високою продуктивністю.

Ключові слова: композитні матеріали, верстат, стільникові конструкції, струминно-лазерна обробка, гібридна обробка.

ABSTRACT

Structure and scope of work. The dissertation consists of an introduction, three chapters, conclusions, list of sources used, appendices. The work contains 85 pages, 51 figures and 6 tables, a list of references from 62 sources.

Actuality of theme. Every year, composite materials become more important among new materials of general use in all spheres of human activity. Because they combine a whole set of properties, combining which we are able to obtain optimal designs. Composites have been widely used in construction, aerospace, and machine building. For the existing needs of the aerospace industry, the processing of composite materials is important because composite materials are used both in the fuselage and in the casing of aircraft. Therefore, the accuracy of processing the edges of the composite material is of paramount importance, because it directly affects the strength and integrity of the structure.

The purpose and objectives of the study. The purpose of this work is to develop a hybrid machine for processing the edges of composite materials. Ensuring more efficient processing of the edges of composite materials and synergy of actions, which will be manifested in certain changes in the properties of the surface layer. The use of several processing methods requires a reduction in the number of means of orientation of the workpiece.

To achieve this goal, the following tasks were solved:

1. Review of the principles of processing hybridization and analysis of machine designs for hybrid processing.
2. Planning of experimental researches.
3. Development of the kinematic scheme, layout and assembly drawing of the machine.
4. Development of table structures, working head and drives for their movement.

5. Performing a study of the dynamics and stress-strain state of the machine components.

6. Calculations of units and details of the stand.

The practical significance of the obtained results. The original design of the machine for cutting of composite materials with rather high accuracy and high productivity is offered.

Key words: composite materials, machine, honeycomb constructions, jet-laser processing, hybrid processing.

РЕФЕРАТ

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка использованных источников, приложений. Работа содержит 85 страниц, 51 рисунок и 6 таблиц, список литературы из 62 источников.

Актуальность темы. С каждым годом композитные материалы занимают большее значение среди новых материалов широкого потребления во всех сферах народ-ской деятельности. Поскольку сочетают в себе целый комплекс свойств, по-соединяя которые мы можем получать оптимальные конструкции. Широкое применение композиты получили в строительстве, авиа- и космобудуванні, маши-нобудуванні. Для существующих потребностей авиа- и космо- промышленности обработка ком-зиционных материалов занимает большое значение так как композитные материалы используются, как и в фюзеляже, так и в обшивке летательных аппаратов. Итак, точность обработки кромок композитного материала занимает первоочередное значение, поскольку напрямую влияет на прочность и целостность конструкции.

Цель и задачи исследования. Цель данной работы - разработка гибридного станка для обработки кромок композитных материалов. Обеспечение более эффективного обработки кромок композитных материалов и синергию действий, которая будет проявляться в определенных изменениях свойств поверхностного слоя. Использование нескольких методов обработки требует уменьшения количества средств ори ния обрабатываемой заготовки.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Обзор принципов гибридизации обработки и анализ конструкций верста-тов для гибридной обработки.
2. Планирование экспериментальных исследований.
3. Разработка кинематической схемы, компоновки и сборочного чертежа станка.

4. Разработка конструкций стола, рабочей головки и приводов их перемещение.

5. Выполнение исследования динамики и напряженно-деформированного состояния узлов станка.

6. Расчеты узлов и деталей станка.

Практическое значение полученных результатов. Предложено оригинальную конструкцию станка для резки композитных материалов с достаточно высокой точностью и высокой производительностью.

Ключевые слова: композитные материалы, станок, сотовые конструкции, струйно-лазерная обработка, гибридная обработка.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. Огляд принципів гібридизації обробки.....	4
1.1. Застосування композитних матеріалів в машинобудуванні.	4
1.2. Вибір методу гібридної обробки.....	17
Висновки до розділу	25
2. Будова станку для гібридної обробки.	26
2.1 Аналіз конструкцій існуючих верстатів.....	26
2.2 Обґрунтування та вибір компоновки верстата.	31
2.3 Принципова схема верстату.	32
2.4. Розрахунок приводу переміщення робочого столу.	34
2.4.1. Розрахунок та вибір ШВП.	34
2.4.2. Розрахунок крокового двигуна.....	39
2.5. Розрахунок приводу переміщення робочої головки.	42
2.6 Обґрунтування конструкції лазерної головки.....	44
2.6.1. Методи введення лазерного променя в швидкоплинний потік рідини.	44
2.6.2. Розробка конструкції струминно лазерної-головки.....	50
Висновки до розділу.	54
3. Конструкція верстату та перевірка основних вузлів за допомогою віртуального експерименту	55
3.1 Загальний вигляд верстату.....	55
3.2 Станина.....	55
3.3 Привод переміщення лазерної головки.....	58
3.4 Привод переміщення робочого столу.	58

3.5 Експериментальна робоча головка.....	60
3.6 Моделювання динаміки робочого столу за допомогою Autodesk Inventor.	63
3.7. Розрахунок температурних полів при дії лазерно-струминного потоку... 74	
Висновки до розділу	78
ВИСНОВКИ.....	79
Літературні джерела:	80

ВСТУП

Розвиток людської цивілізації нерозривно пов'язаний з використанням нових матеріалів та освоєнням нових технологій. Зокрема сучасний розвиток будівництва літальних апаратів значно розширює сферу використання новітніх матеріалів зокрема композитів, які мають особливі властивості та оброблення яких не завжди ефективна за допомогою традиційних методів обробки. Тому обробка таких матеріалів вимагає створення більш ефективних методів обробки.

Доволі широкого застосування в багатьох сферах промисловості здобув метод струминно-лазерної обробки який представляє собою одночасне використання лазерного та струминного потоку високого тиску. Даний метод дозволяє обробляти кераміку, карбідні матеріали, штучні алмази, обробку надміцних матеріалів та кремнієвих чіпів.

В даній роботі приведена конструкція верстату для обробки крайок композитних матеріалів.

1. Огляд принципів гібридизації обробки.

1.1. Застосування композитних матеріалів в машинобудуванні.

Природа – головний творець композитних матеріалів(КМ). Натуральні природні матеріали (шкіра, кістки, роги, ракушки та інші) являються композитними матеріалами, які складаються з двох різних матеріалів: наповнювача (роль якого виконують тонкі волокна або дисперсні частинки) та матриці, або, як частіше кажуть, зв'язуючого (в природних композитах різні типи смол, в тому числі молекули білка). Найкращий приклад вищесказаного – це людське тіло, де кістковий скелет виступає в ролі наповнювача та м'язова тканина в ролі матриці. Гарним прикладом демонстрації являється бамбук – композит на основі целюлозної м'якої матриці, зміцненої оксидом кремнію. Кістки являються представляють також доволі досконалу композицію: кристали апатиту так між собою поєднуються і орієнтуються, що кістки значно міцніші ніж колаген, який включає в себе апатит але і за сам чистий апатит[1].

Традиційними конструктивними матеріалами протягом багатьох десятиліть були матеріали на полікристалічній основі (метали, сплави), хоча людство використовує композити з давніх пір. Зокрема, використання папірусу просоченого смолою, для суднобудування на Середньому сході(≈ 5000 р. до н.е.); фанера, яка використовувалась при будівництві Фів (≈ 1500 р. до н.е.); мох для зміцнення льоду при будівництві іглу у ескімосів; кераміка стародавніх майя; луки кочівників з декількох слоїв дерева, рогу, шовку скріплених за допомогою клею.

Метою створення композитних матеріалів було поєднання вихідних матеріалів для досягнення властивостей, які не притаманні вихідним матеріалам. Компоненти композитів не повинні розчинятись або поглинати один одного, але вони мають бути добре сумісними. Яскравим прикладом даного сполучення є цемент армований скловолокном – еластичний матеріал в широкому діапазоні навантажень, хоча вихідні матеріали дві крихкі від природи тверді речовини.

В сучасних реаліях композити привертають до себе все більшу увагу, оскільки ми живемо в світі з обмеженими сировинними ресурсами для виготовлення високоя-

кісних сплавів. Разом з тим композити мають ряд унікальних властивостей, які дозволяють знайти технічні рішення для ряду проблем, які в металічному виконанні які недосяжні, дозволяє підвищити службові характеристики машини. Також композити дають змогу керувати властивостями матеріалу, створення матеріалів з новими ступенями вільності при оптимізації матеріалу – конструкції, з пізнанням фундаментальних законів міцності і надійності штучних і біологічних композитів.

В історії використання КМ в машинобудуванні виділяють 4 етапи[2] :

1. Початок ХХ ст. Пов'язаний з створенням техніки, зокрема перше серійне виготовлення деталі з полімерних матеріалів з дисперсним наповнювачем – ручка перемикача швидкостей автомобіля «Rolls-Royce» 1916р. Етап накоплення експериментальних даних за властивостями. Видача першого патенту на КМ в 1909р., на зміцнення синтетичних смол природніми волокнами.
2. 50-ті роки ХХ ст. Розробка ракетного пального, яке на 80% складалось з твердих часток пального, сполученого за допомогою еластичного матеріалу. Це дозволило створити наукові основи механіки процесів руйнування дисперсно-наповнених КМ.
3. Кінець 70-х рр. ХХ ст. Масове використання КМ для побутових потреб, для надання потрібних експлуатаційних властивостей і зниження вартості продукції в склад полімерів почали вводити жорсткі неорганічні частинки.
4. Кінець 80-х рр. ХХ ст. Створення нанокompозитів, де в якості наповнювача використовувались нанорозмірні частинки.

Більшість промислово розвинених країн виробництво деталей з КМ невідменно зростає, оскільки дані матеріали дозволяють досягти значного покращення якості і зменшення ваги виробу і конструкцій, в тому числі працюючих в екстремальних умовах, при одночасному підвищенні їх надійності [3]. Одним із найважливіших умов конкурентоздатності КМ є їх оптимальне поєднання технологічності виробни-

цтва з високими експлуатаційними характеристиками (міцність, надійність, жорсткість, зносостійкість) і низькою вартістю. Економічним обґрунтуванням заміни металевих деталей на деталі з КМ є зменшення матеріаломісткості конструкції з збереженням заданої безпечності виробу (як для людей так і для оточуючого середовища).

Композитними називають штучно створенні неоднорідні матеріали, в яких[1]:

1. Можна виділити матрицю і наповнювач, що мають різні функції і розподілені виразною границею розподілу;
2. Структура армування забезпечує спеціальні властивості, які не є результатом простого підсумовування характеристик компонентів;
3. Виявляється масштабний ефект міцності, тобто відбувається її підвищення за рахунок малого діаметру наповнювача, та особлива роль границі розподілу.

Кількість створених і перспективних КМ доволі широке в зв'язку з можливістю різних варіацій компонентів, структури і технології виготовлення.

Композитні матеріали розрізняють за:

1. Хімічним складом матриці: полімерна, металічна, керамічна, вуглецева, цементна.
2. Хімічним складом армуючих елементів: волокна(скляні, базальтові, керамічні та інші), плівки.
3. Формою армуючих елементів: волокна, вуси, дисперсні наповнювачі, стрічки, фольги, сітки, стільникові елементи.
4. Типом напівфабрикату: тканини різного плетіння, джгути, пасма, ровинг, рублена пряжа, хаотичне армування короткими волокнами.
5. Технологією виготовлення:
 - Для волокнистих композитів на основі тканини з полімерною матрицею: намотка, викладка, пресування у пресформах, пултрузія, екструзія, інжекційне пресування та інше

- Для композитів з металічною матрицею: зварювання вибухом, порошкова технологія, плазмове напилення, пресування з фольги та інші.
6. За способом гібридизації: сполучення моноволокон всередині джгута, сполучення різних ниток та джгутів в середині стрічок та тканин, комбінації шарів з різних тканин або однонаправлених препрегів у пластиках.
7. За конструкційним призначенням:
- конструкційні(несучі, високоміцні);
 - фрикційні та антифрикційні, зносостійкі, самозмащувальні;
 - жаростійкі, теплостійкі, морозостійкі;
 - антикорозійні, хімічностійкі;
 - прозорі, світлопроникне скло, армовані плівки;
 - декоративні та облицювальні;
 - ударостійкі, броньовані;
 - функціональні (електротехнічні, радіопрозорі, радіаційнозахисні та інші)

На сьогодні КМ застосовуються в різних сферах промисловості [4, 5, 6, 7], зокрема:

- в будівництві – залізобетонні вироби (залізо – наповнювач, бетон – матриця), ДСП (дерев'яна стружка з клеєм), склопластикові вікна та двері та інші(Рис.1.1).
- в авіації – при виготовленні обшивки, обтічників та фюзеляжів літаків, елементів облицювання салонів, рулів, стабілізаторів, шасі та інші(Рис.1.2)[8].
- в автомобілебудуванні – виготовлення кузовних деталей, елементів облицювання кабіни та інші (рис.1.3 та рис.1.4.[9])

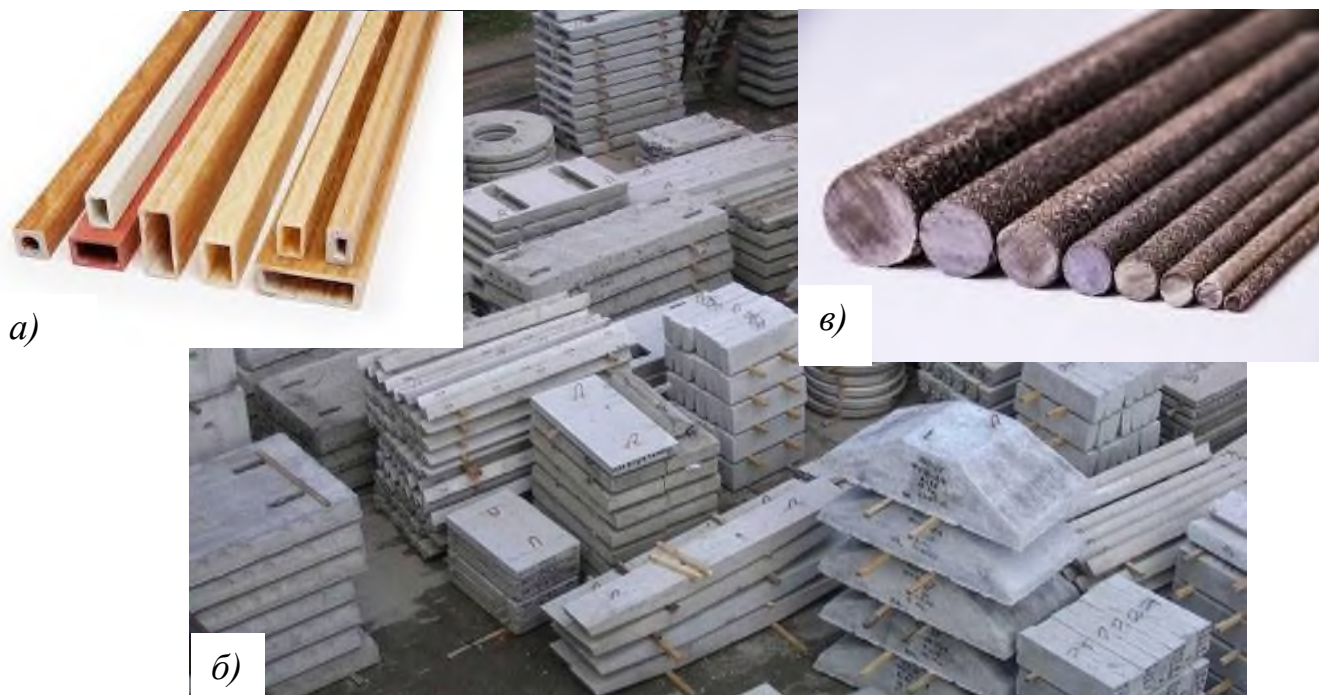
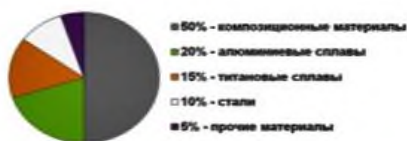


Рис.1.1. Деякі КМ, які використовуються в будівництві: а) полімерний композитний профіль, б) залізо-бетонні вироби, в) композитна полімерна арматура.

Проект БОИНГ 787 DREAMLINER

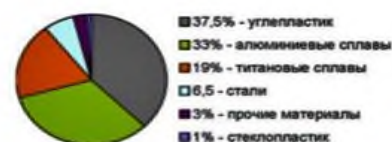


- Доля ПКМ (по масі):
- Аэробус А380 – 22%
- Боинг 787 – до 60%
- Военные – не более 40%

КОМПОЗИТ
ХОЛДИНГОВА КОМПАНІЯ

- Результаты использования ПКМ:
- Снижение веса на 15-30%
- Уменьшение расхода топлива
- Улучшение экологических показателей

Проекты SSJ 1XX и IRCUT MS 21



- По расчетам фирмы Porcher, за килограмм сэкономленного веса производители гражданских самолетов готовы платить до 500 ЕВРО



Рис.1.2. Використання КМ в авіабудуванні (цивільна і військова авіація)[8]

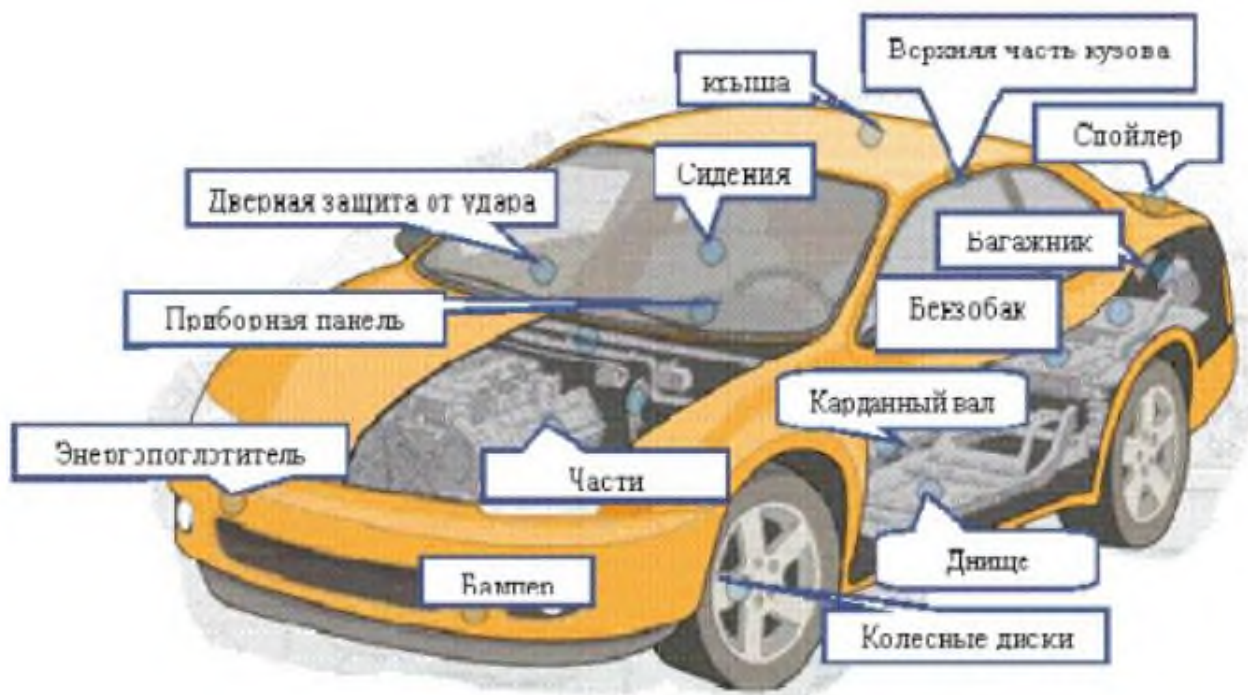


Рис.1.3. Деталі автомобілів виготовлені з полімерних композитних матеріалів(ПКМ)[9]



Рис.1.4 Основні області використання КМ при виготовленні і ремонті дорожньо-будівельних машин[9]

За даними джерела [4.] приведений рис.1.5, де наведенні об'єми виробництва виробів із сталі та ПКМ по роках, на якому досить добре видно, що доля виробів з КМ з кожним роком суттєво зростає.

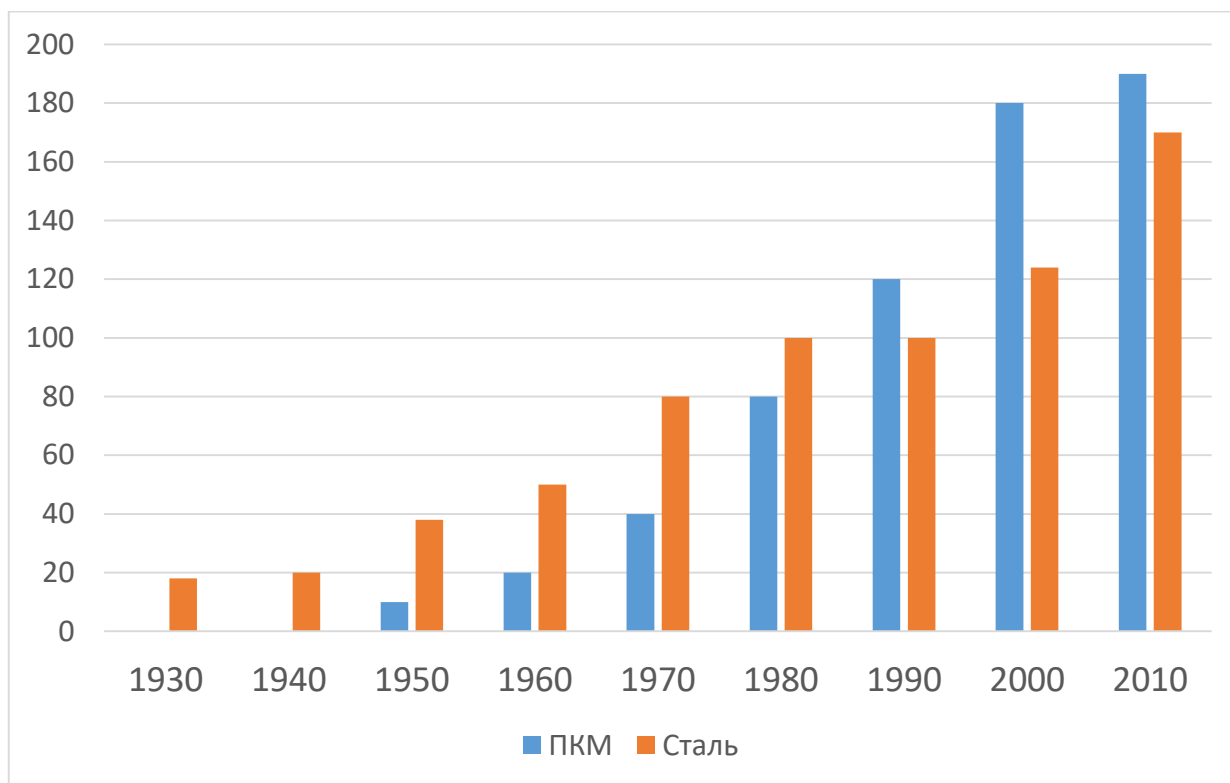


Рис1.5. Об'єми виробництва виробів з сталі та ПКМ по рокам, млн.м³.[4].

В машинобудуванні знайшли широке застосування КМ на основі фторопласта для виготовлення підшипників ковзання, манжет, ущільнювальних кілець, прокладок гідравлічних систем (верстатів, автомобілів), ущільнень поршневих і плунжерних компресорів, деталей систем управління, системи нейтралізації газу, системи реверсивного пристрою двигуна та інші [6, 10, 11].

Також широке застосування серед неметалічних матеріалів в машинобудуванні знайшов капрон (поліамід) – конструкційний та антифрикційний матеріал, що використовується в різних сферах промисловості для виготовлення деталей різного роду [5, 6, 12]:

- втулки, підшипники ковзання, комплектуючих вузлів тертя (направляючі, вкладиші та ін.), що працюють при навантаженні до 20 МПа;
- Шківів, блоків, коліс, роликів вантажопідйомних машин з тяговим зусиллям до 30 т, гідравлічних візків, кран-балок та інше;

- Корпусів, кронштейнів різних приборів та автоматів, ступиці коліс візків, вагонеток які мають підвищені вимоги ударостійкості;
- Зубчасті колеса, черв'ячні колеса для приводів редукторів (знижують вібрації і рівень шуму до 15 ДБ);
- Деталі ущільнення дозаторів, сепараторів, запірної арматури, манжет для систем високого тиску (до 500 атм).

Поліамід має низький коефіцієнт тертя в парі з будь якими металами, в 6-7 раз легше бронзи та сталі. Не піддається корозії, не токсичний, екологічно чистий. Відомо, що вироби з капролону в 2 рази знижують зношування пар тертя, підвищуючи їх довговічність[13, 14].

Широке застосування в сучасному авіакосмічному будівництві знайшли стільникові конструкції (СК), зокрема виготовлені з композитних матеріалів. [15, 16]. Дані конструкції забезпечують високу механічну міцність та геометричну стабільність в польоті літального апарату (ЛА), як у атмосфері, так і після виходу на орбіту. СК мають високі показники стійкості до впливу вакууму, іонізуючого випромінювання та коливань температури до 350 °С, та мають малу масу – питома маса типової СК 2,94 кг/м³ [17] .

Крім авіакосмічного будівництва широке поширення стільникові конструкції мають в суднобудівній (елементи обшивки) та будівельній (сендвіч панелі, стільниковий полікарбонат) галузях, що обумовлено перевагами: висока питома міцність, надійність, жорсткість та легкість. На рисунку 1.6 наведені залежності руйнування при поздовжньому стиску від коефіцієнта напруженості різних конструкцій[16]. Порівнявши дані для трьох різних матеріалів (1- панель з стільниковим заповнювачем, 2- монолітна панель, 3 – панель клепака), можна дійти висновку, що стільникові панелі мають набагато кращі показники міцності ніж аналоги.

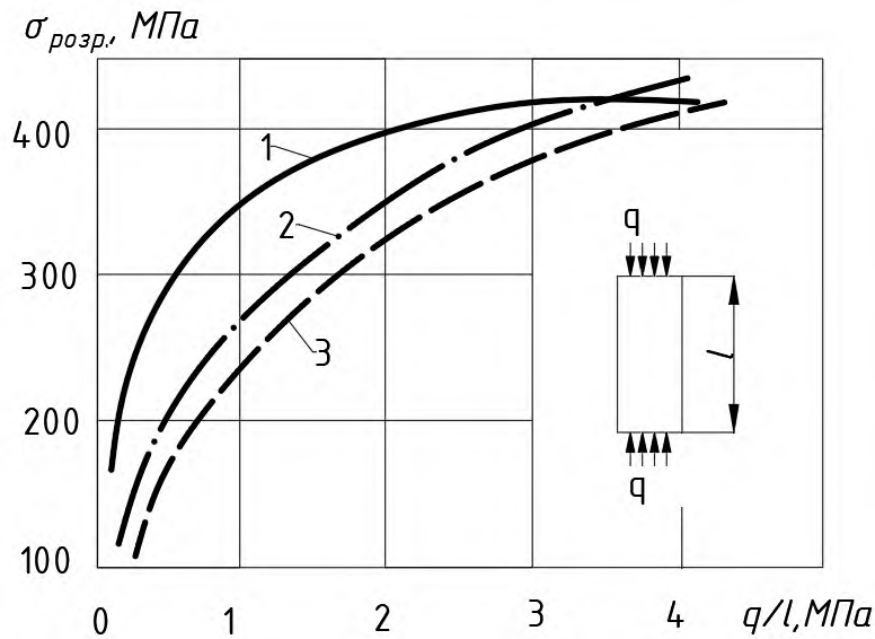


Рис.1.6. Залежність напружень руйнування при повздовжньому стиску від коефіцієнта напруженості різних конструкцій: 1 – панель з стільниковим наповнювачем; 2 – панель монолітна; 3 – панель клепака.

В ракетно-космічній техніці розділяють три напрямки використання СК [15, 16]:

- Конструкційний (для головних обтікачів ракет, перехідних відсіків, гаргротів, обтікачів антен, елементів керування крилатих ракет) рис.1.7,а,в;
- Теплозахисний і теплоізоляційний (для аеродинамічних екранів, лобових щитів та інше) рис.1.7,б
- Конструкціях, довготривалої роботи в умовах відкритого космосу (антени, панелі негерметичних космічних апаратів, панелі сонячних батарей та ін.) рис.1.7, г;

Найбільш широко в авіаційній і космічній сферах застосовується тришарова СК [15, 16, 17] фотографії якої представлені на рис.1.8. Тришарова СК складається з зовнішньої та внутрішньої обшивки та серцевини з стільникового заповнювача [17] . Стільниковий заповнювач – конструкційний матеріал який має вигляд рівномірно розташованих комірок певної конфігурації та розмірів рис.1.9 та 1.8 г).

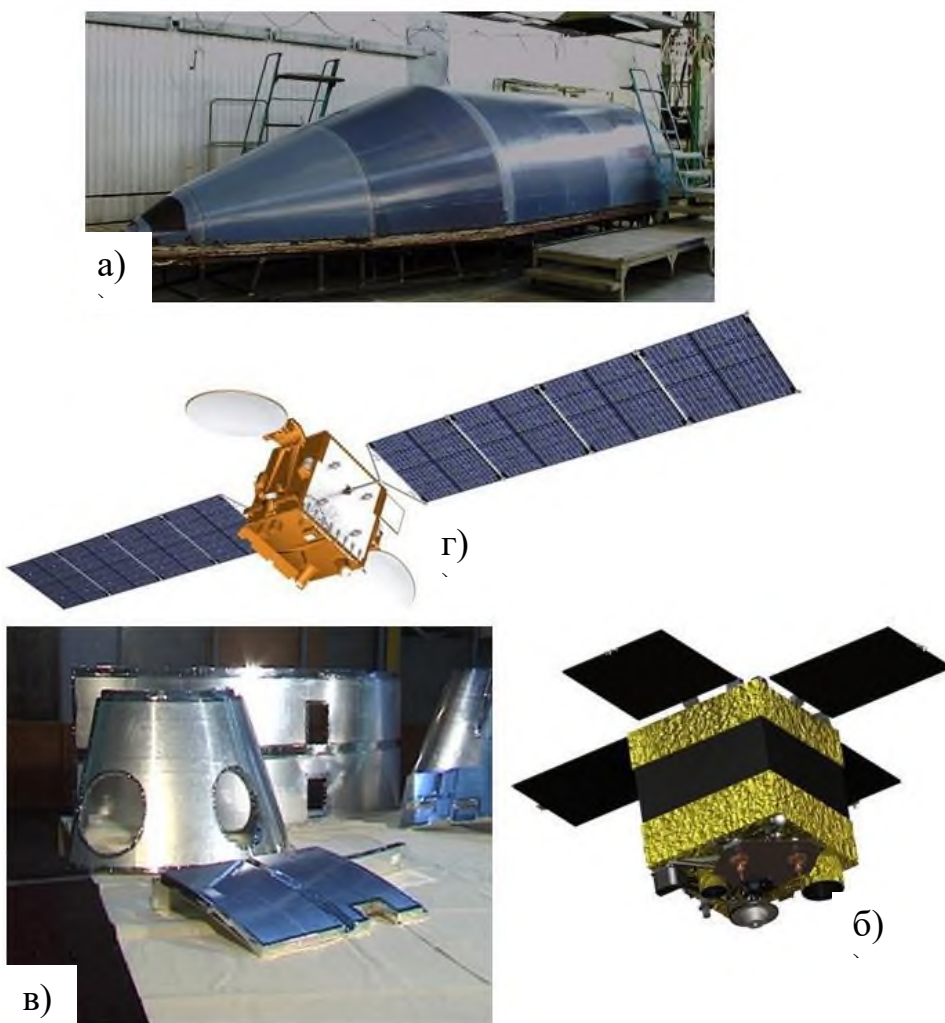
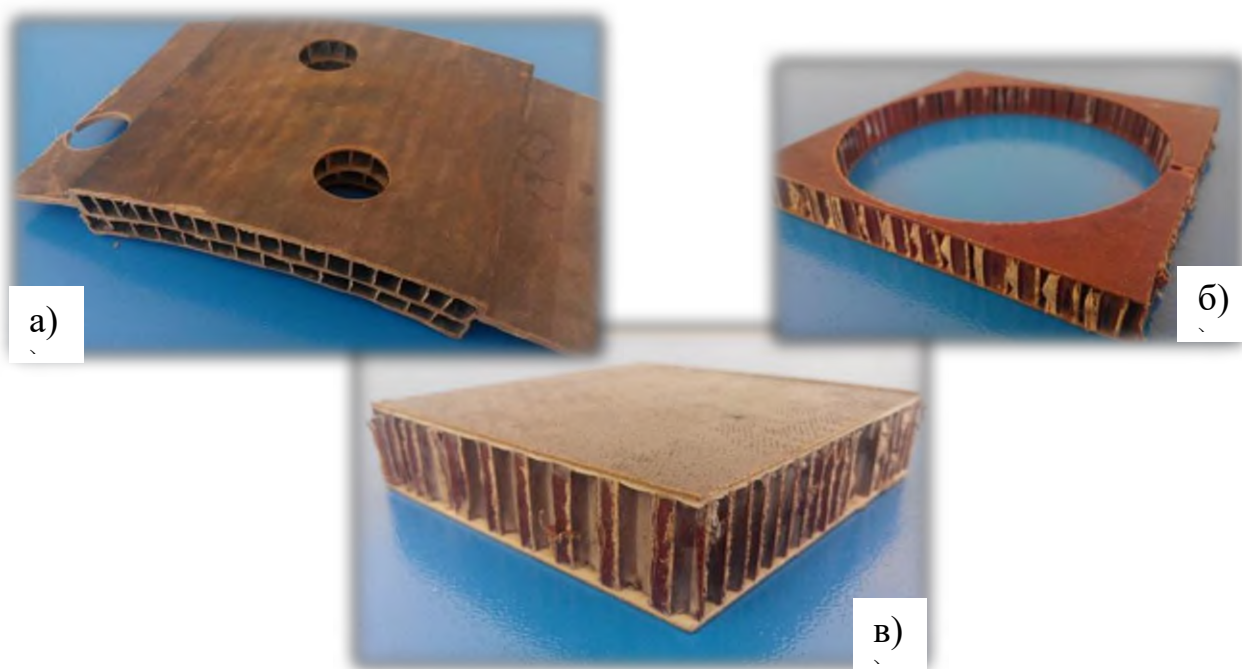


Рис.1.7 Вироби із СК [18]: а) головний обтікач; б) тепловий екран; в) міжступеневі блоки; г) панелі сонячних батарей.



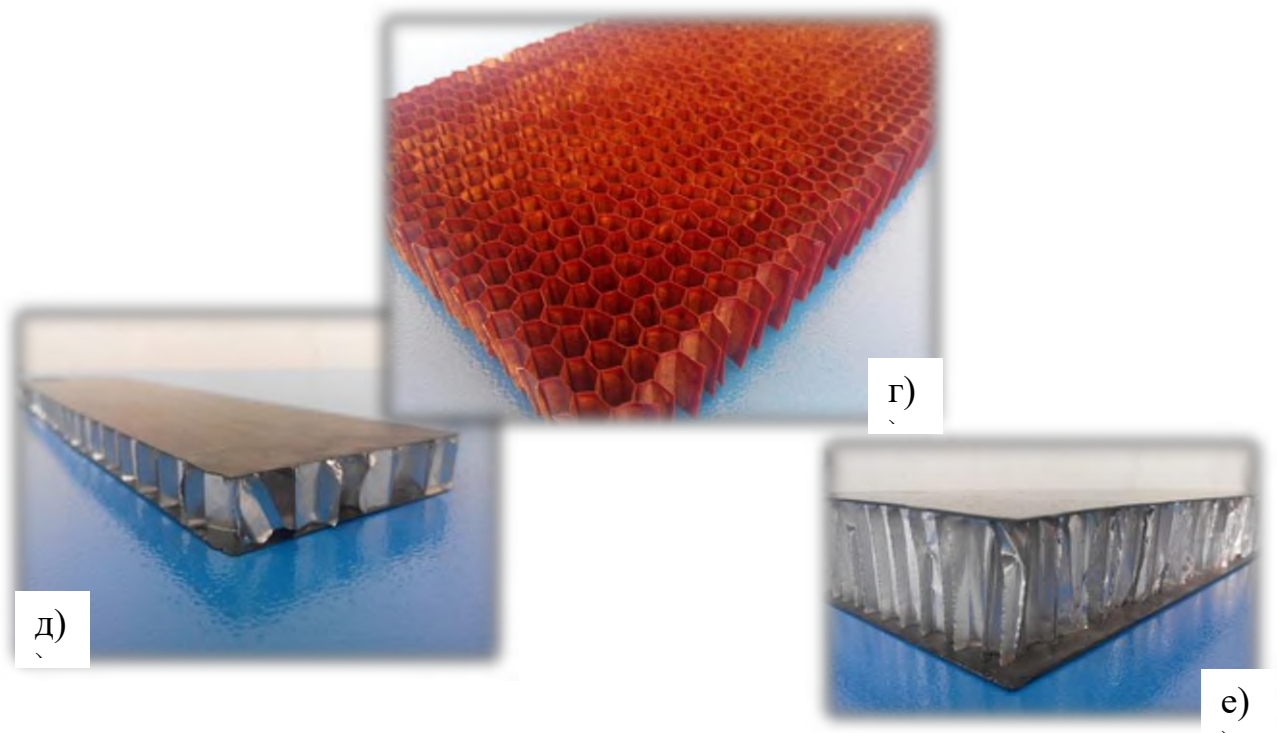


Рис.1.8. Фотографії стільникових панелей [15]: а) СК панель зовнішньої обшивки літака товщиною 25мм; б),в) – елементи обшивки літака; г) стільниковий наповнювач з бакелітового паперу з шестигранною формою комірок товщиною 19мм; д) – СК панель з чотиригранним стільниковим наповнювачем товщиною 11 мм, елемент обшивки космічної ракети; е) елемент обшивки панелі космічної ракети з алюмінієвим стільниковим наповнювачем з шестигранною формою комірки товщиною 38мм.

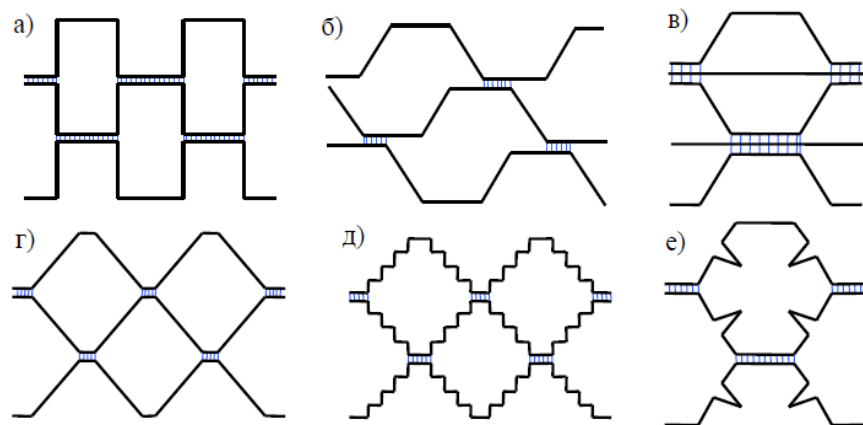


Рис.1.9 Приклади комірок стільникового наповнювача [17, 15].

а – прямокутна форма комірок; б – з шестигранною зміщеною формою; в – шестигранна з додатково підсилюючими смугами; г – квадратна форма; д – квадратна з рифленими гранями; е – квадратна з рифленнями на одинарних граннях.

На рис.1.10. зображена типова схема тришарової СК панелі та стільникового наповнювача з шестигранною формою комірок рис.1.11.

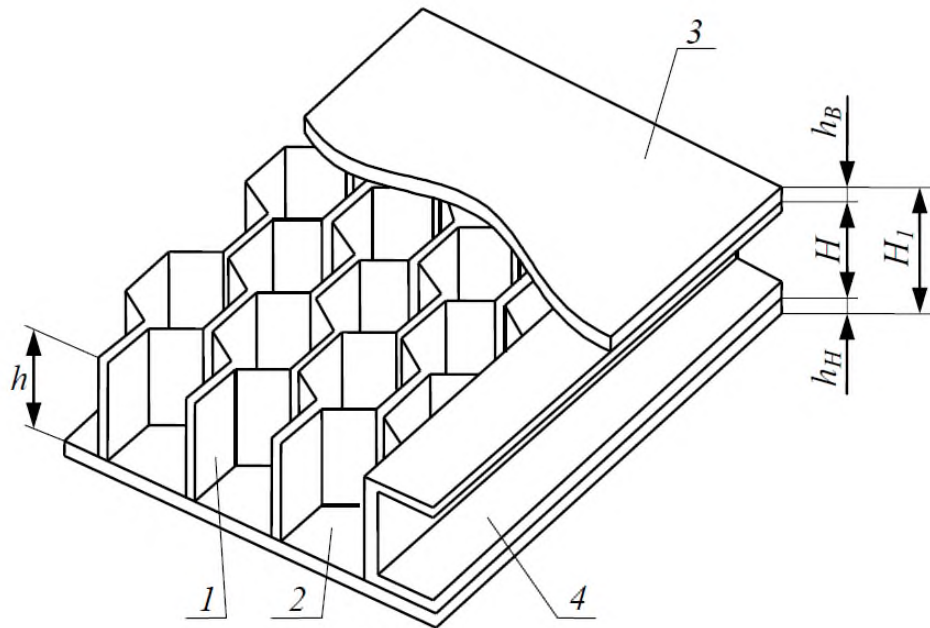


Рис.1.10 Типова схема тришарової стільникової панелі[17]: 1- стільниковий наповнювач; 2,3 – зовнішня та внутрішня обшивка; 4 – окантовка.

Товщина тришарової СК на пряму залежить від її від умов навантаження її в процесі експлуатації, тому існує тісний взаємозв'язок між розмірами панелі та діючого навантаження. Товщина панелі визначається за формулою 1.1[17].

$$H_1 = H + h_3 + h_B \quad (1.1)$$

де H – товщина середнього шару

h_3 – товщина зовнішнього шару

h_B – товщина внутрішнього шару

Товщина середнього шару H в свою чергу складається і з товщини стільникового наповнювача h та товщин клейових прошарків δ_k , з допомогою яких обшивки прикріплюються до стільникового наповнювача.

$$H = h + 2 \delta_k \quad (1.2)$$

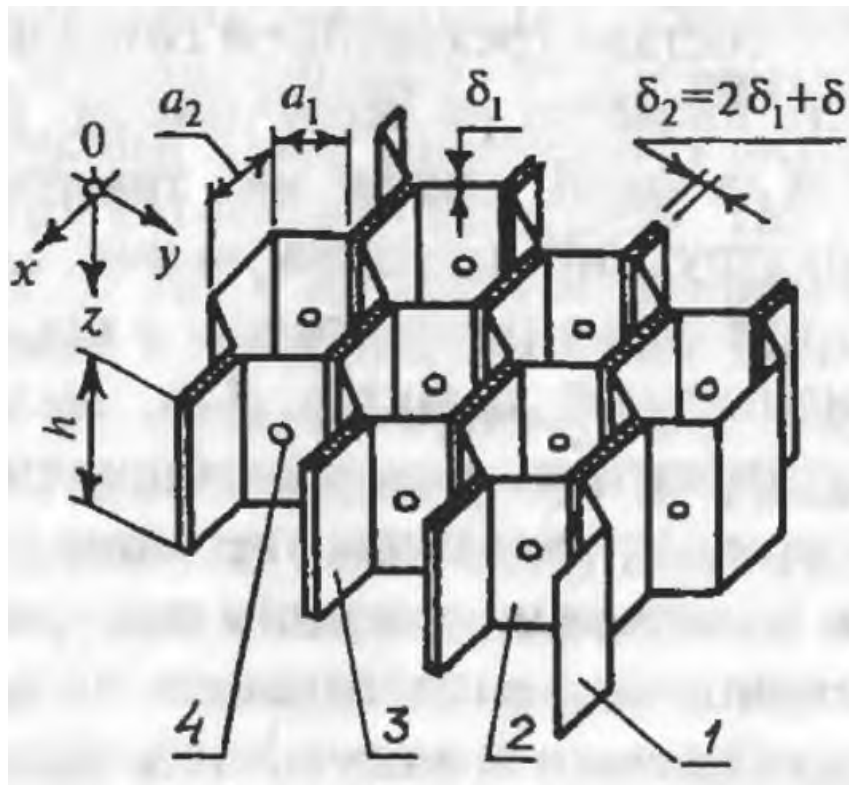


Рис.1.11 Конструктивна схема шестигранного стільникового наповнювача [17]: 1 – гофрована смуга; 2 – одинарні грані; 3 – подвійні грані; 4 – дренажні отвори.

Вітчизняні виробники для виготовлення стільникових конструкцій використовують наступні марки матеріалів[6, 12, 15, 19, 20, 21, 22]:

- алюмінієві сплави марок: АМг2-Н, АД1Н, А1Т, САП. Товщиною 0,03 – 0,15мм;
- титанові сплави ВТ15, ВТ1-0 товщиною 0,08 -0,1мм;
- сталі марок ЕП35, 12Х18Н10Т, СН-4, ВНС-17 товщиною 0,06 - 0,08мм;
- з склопластику на основі електроізоляційної тканини ЕЗ-100 просочену епоксидними або фенольноформальдегідними смолами.

В США для виконання даних панелей застосовують наступні матеріали:

- алюмінієві сплави марок: 5052, 5056, 2024;
- титанові сплави марок: Ti35A, Ti3Al-25V, Ti3Al-2V;
- сталі марок: РН15-7Мо, Hastelloy X та інші;
- склопластики марок NP, NFT, HRH327 на основі поліефірної, фенольної та поліамідної матриці відповідно;

– арамідний папір «Номекс».

За джерелами [15,23] більшість стільникових заповнювачів виготовляється методом склеювання.

1.2. Вибір методу гібридної обробки

Теорія обробки матеріалів різанням є основною базою створення нових технологічних процесів, опанування якою необхідно для вирішення головних проблем машинобудування і, перш за все верстатобудування та інструментального забезпечення.

Крім традиційних способів обробки останнім часом широкого використання набули так звані гібридні (інтегровані, комбіновані) технології обробки матеріалів. Це поєднання різних видів обробки в рамках одного технологічного циклу виготовлення деталі. Дане спільне використання різних технологій обробки металу дозволяє досягти поставленого результату найбільш ефективно і швидко [24].

На сьогоднішній день відомо безліч різних методів інтегрованих процесів обробки матеріалів, як лезовим інструментом, зокрема: різання з випереджаючим пластичним деформуванням, процеси різання з інтегрованою кінематикою (тангенціальне точіння); так і абразивним інструментом: алмазно-абразивне шліфування з вібраціями і керуванням робочою поверхнею круга, вібро-абразивна обробка, магнітно-абразивна обробка, алмазно-іскрове шліфування, гідро-абразивне різання, струмино-лазерне різання.

Для різання композитних матеріалів у джерелах [17,24] пропонуються традиційні методи обробки різанням. Так в джерелі [17] пропонується виконувати розрізування пакету тришарової СК з металевим наповнювачем здійснювати на стрічково-розпилювальному верстаті ЛС-80-3, обладнаному вуглецевою стрічковою пилою ТУ 14-1-1202-75 або алмазною стрічковою пилою з алмазним напиленням АСВ зернистістю 250/200 на нікелевій зв'язці. Режимми обробки: швидкість різання 15–20 м/с, по-вздожня подача 2–2,5 м/хв.

Для обробки тришарових панелей СК з неметалевим наповнювачем рекомендується виконувати на горизонтально-фрезерному верстаті типу 6Р82Г.

В свою чергу у джерелі [24] наведені дані для обробки композитних матеріалів традиційним методом обробки лезовим інструментом, а саме фрезеруванням. Була виведена залежність вихідних параметрів якості обробки композитних матеріалів від енергетичних затрат на процес різання при фрезеруванні (рис.1.12.) з досить непоганими показниками обробленої поверхні, але високими затратами енергії для досягнення цих показників. Причому при розрізанні КМ традиційними методами відбувається руйнування поверхневого шару КМ, що призводить до розшарування поверхні оброблюваного матеріалу і негативно впливає на показники якості поверхні, що в свою чергу погіршує якість збирання конструкцій з стільникового матеріалу.

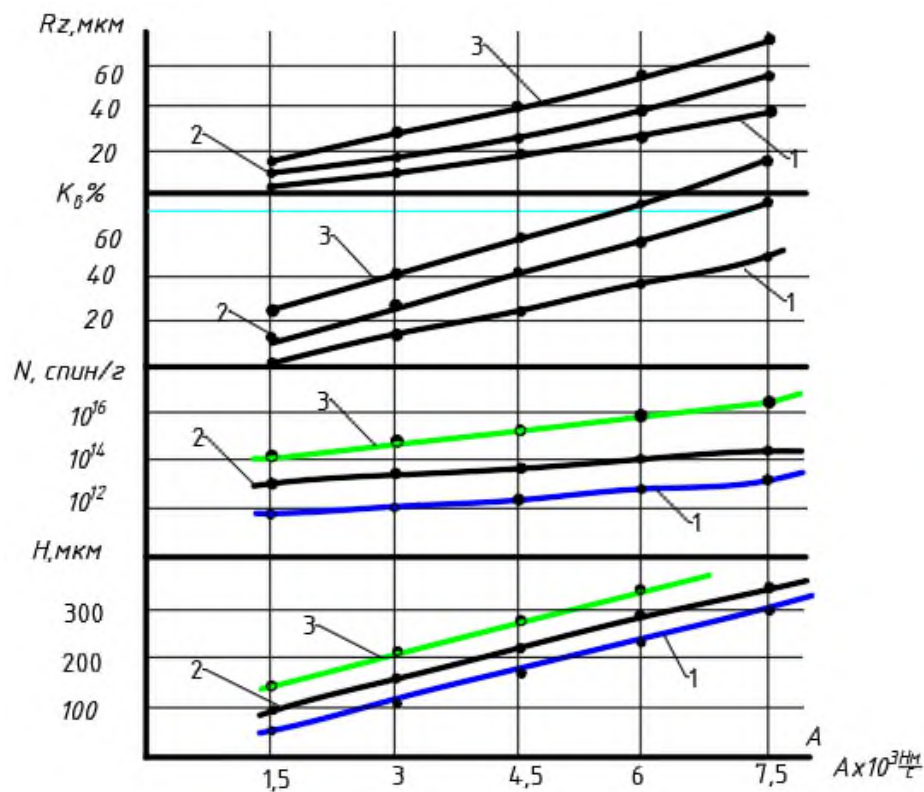


Рис.1.12 Залежність вихідних параметрів якості обробки композитів від енергетичних затрат процесу різання при фрезеруванні:

1 – склопластику, 2 – склоорганопластику, 3 – органопластику

Серед гібридних технологій обробки матеріалів наведених в джерелах [24,25] гарні показники при обробці композитів та твердих сплавів має гідро-абразивна обробка. Типова схема гідро-абразивної машини та схема взаємодії струменя з оброблюваною заготовкою наведена на рис. 1.13. Обробка композитних матеріалів досліджу-

валась в роботі [26]. Де недоліками методу гідро-абразивного методу різки є можливість відшарування поверхневого шару та його розпучення (рис.1.14). До недоліків методу гідро-абразивної різки можна віднести:

- висока вартість абразивних матеріалів;
- мала швидкість різання;
- обмежений ресурс окремих комплектуючих різальної головки.

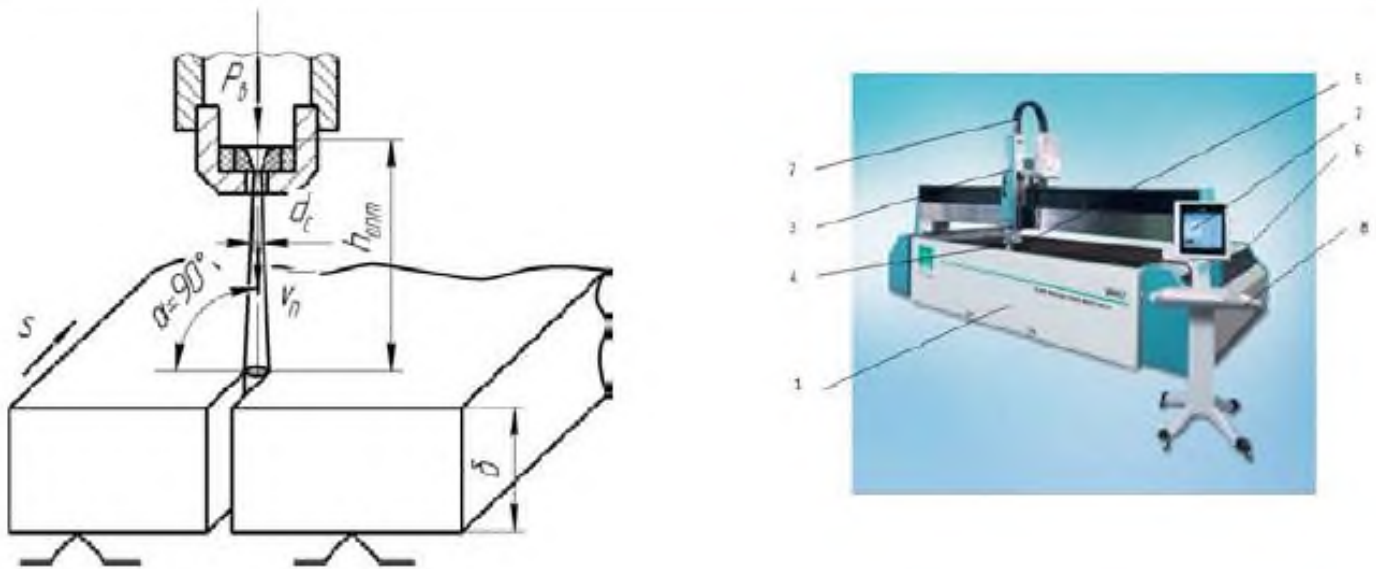


Рис.1.13. Схема взаємодії швидкоплинного струменя малого діаметра з оброблюваним матеріалом (а) і типова гідро-ріжуча машина (б):

1 - басейн-пастка з робочим столом; 2 - портал переміщення робочого органу; 3 - каретка робочого органу; 4 - струменева або струменево-абразивна головка; 5 – соплова насадка; 6 - система приводу верстата і джерело харчування високого тиску; 7 – магістраль високого тиску; 8 – система управління

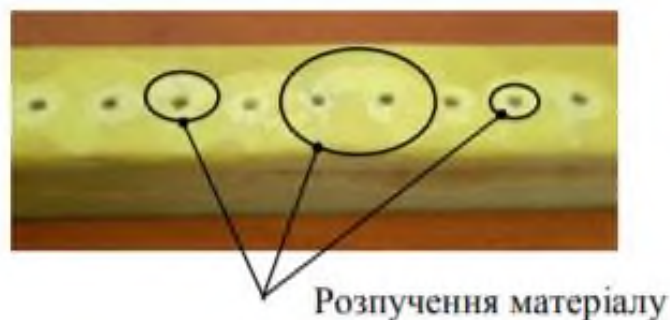


Рис. 1.14 Перфорація композитного матеріалу з розпученням поверхневого шару навколо отвору[26].

Доволі перспективним методом для гібридної обробки КМ є струминно-лазерний метод описаний в джерелах[15, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33].

За джерелом [15] метод струминно-лазерної обробки використовувався для перфорування стільникових конструкцій. забезпечення якості обробки стільникових конструкцій з композитних матеріалів. Метод струминно-лазерної обробки є відносно новим та доволі перспективним методом обробки різанням, оскільки здатен виконувати різання широкого спектру матеріалів (включаючи важкооброблювані) з забезпеченням високих показників чистоти та якості оброблюваних поверхонь [28,31,32].

За своєю суттю струминно-лазерна обробка – сполучення лазерного променя з потоком малого діаметру. Сама ідея сполучення світлового потоку з струменем рідини не нова. На виставці в Парижі у 1841р. було представлено так званий «світловий фонтан» [32, 34]. За допомогою цієї установки було доведено можливість руху світла в потоці рідини близькому до ламінарного при його відхиленні під дією сили земного тяжіння. На рис.1.15 зображено фото стенду установки. У світлонепроникній камері знаходиться рідина, яка повільно витікає з соплової насадки. В протилежній стінці виконаний отвір, закритий склом, через який в камеру потрапляло світло. В темній кімнаті глядачі могли спостерігати, як порушуючи принципи лінійного поширення променів світла світлова пляма була на екрані кювету, в який збігала рідина. Тобто світловий промінь загинався і рухався виключно за потоком рідини, на яку діяла сила тяжіння.



Рис.1.15. Установка «світлового фонтану»[34]

У 80-х роках ХХ ст. швейцарська фірма Synova Laboratories Ltd спробувала реалізувати ідею підведення потужного світлового потоку, здатного виконувати локальне нагрівання поверхні твердого тіла, у зону різання за допомогою струменя рідини. Тим самим розробивши першу технологію струминно-лазерного різання. Запропонований метод нарекли Laser Microjetting або Water Jet Guided Laser.

Сутність методу полягала у тому, що було використано невеликий тиск (до 1,5 МПа) та чітко сформований струмінь рідини малого діаметра (біля 0,1 мм). Промінь вводився крізь прозоре вікно струминної головки (рис. 1.16).

Лазерний промінь фокусувався насадкою на віконце, яке вбудоване у герметичну водяну камеру. Геометрія камери й насадка є вирішальною при сполученні лазерного променя для ефективного формування водо-променевого потоку [36]. Витікаючи з насадки струмінь води напрямляє промінь лазера на межі «рідина–повітря» де завдяки ефекту відбиття лазерний промінь відбивається і за допомогою кількоро-

зового відбиття потрапляє в зону контакту води з перепорою (оброблюваною поверхнею), схожий ефект відбувається при проходженні світла через скловолокно. Струмін води, в даному випадку, можна розглядати, як хвиледвід змінної довжини.

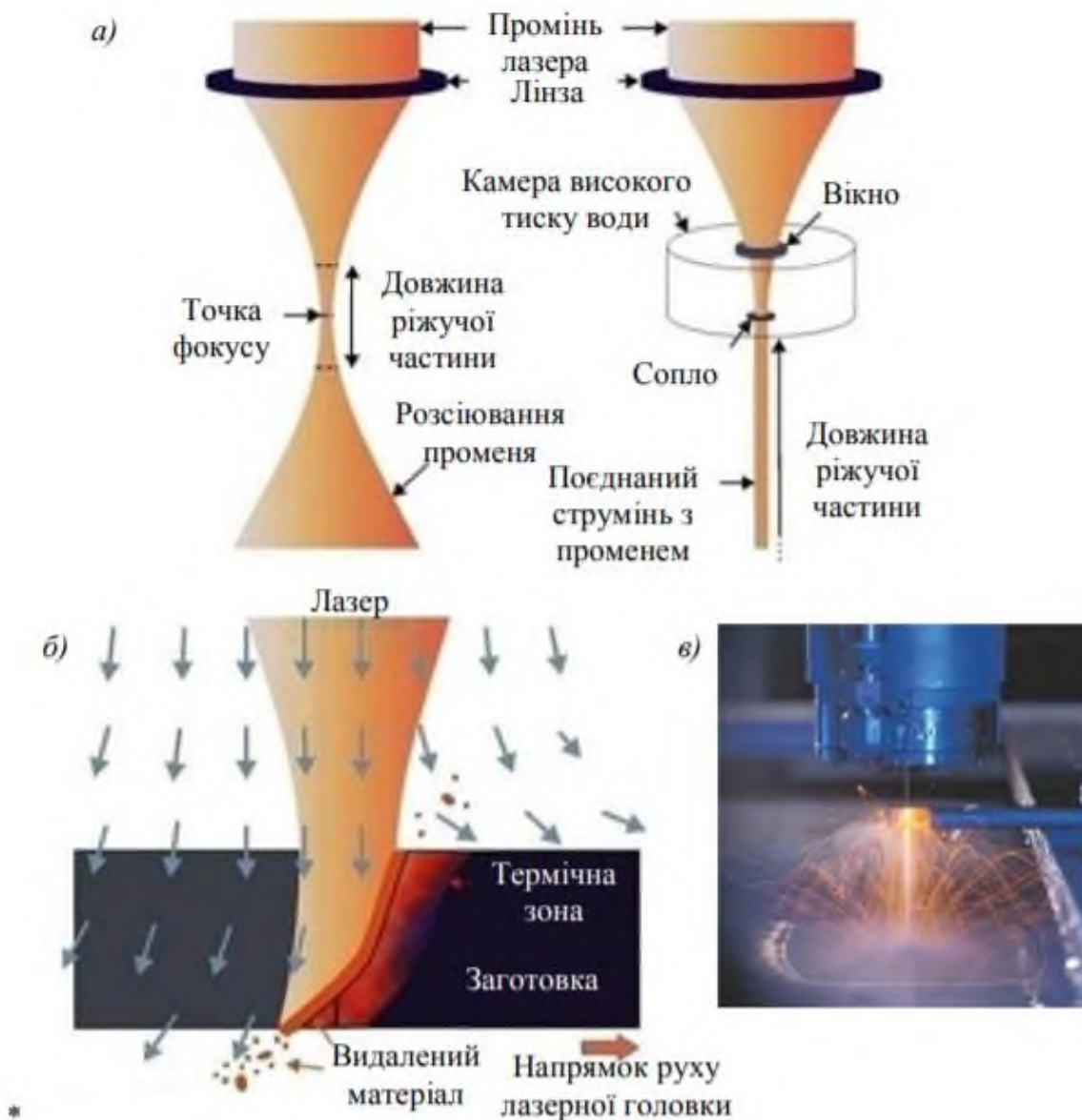


Рис. 1.16. Принцип формування струминно-лазерного потоку та його вплив на оброблювану заготовку [35]: а і б – формування струминно-лазерного потоку; в – різання листової заготовки

Як описано в роботі [15], лазерний промінь проходить через потік води з незначними втратами, активне нагрівання оброблюваного матеріалу виникає лише в місці натіканні на перепону. В роботах [37, 38] описано процес нагрівання лазером

зони різання та її охолодження водою. Зокрема в джерелі [37] йдеться, що коли лазерний промінь зіштовхується з тілом, яке поглинає випромінювання, поверхня нагрівається настільки, що це призводить до утворення плазми. В той час, як потік рідини відокремлює матеріал. Плазма екранує воду, але лазер проникає через такий екран і процес видалення металу локалізується на малому обсязі та проходить з високою швидкістю.

В роботі [38] пояснюється ефект охолодження водою. При активованому лазерному промені в зоні різання залишається лише плазма. При використанні імпульсного лазера, настає час, коли лазерний промінь не генерується, тоді струмінь води охолоджує зону різання, в результаті чого формується дуже мала глибина теплового проникнення. Виходячи з вище описаного, при можливості коригування часу тривалості імпульсу та умови натікання рідини на перепону, є змога чітко забезпечити якість крайки та інтенсивність знімання матеріалу з поверхні.

Також в роботі [36] встановлено залежність довжини активної частини струменя (довжина на якій лазер здатний виконувати ефективну обробку) від режимів витікання рідини. Ці режими пов'язані з комбінацією сил, що діють на струмінь: сили інерції рідини, поверхневою напруженістю, аеродинамічними силами.

В роботі [39] було побудовану довжину розпаду струменя радіусом 190мкм (рис.1.17), що витікав з швидкістю 325м/с. Було встановлено межі змін коливань і доведено, що довжина розпаду струменя фактично збігається з прийнятим у вітчизняній практиці поняттям ядра струменя.

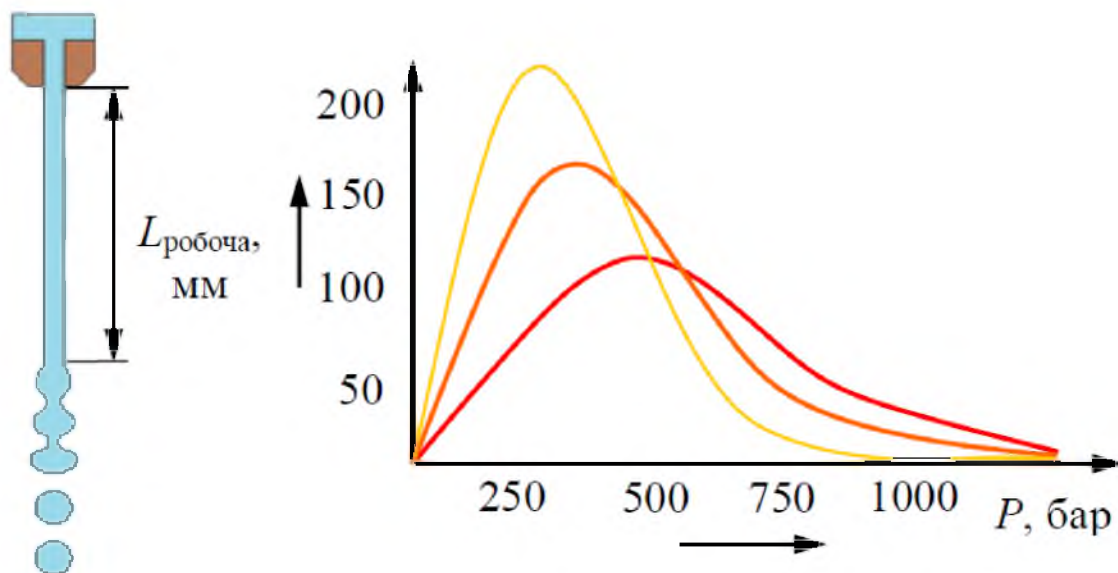


Рис.1.17. Криві розпаду струменя залежно від отвору сопла.

Висновки до розділу

1. Серед нових матеріалів особливе місце займають композитні матеріали, які володіють комплексом різних властивостей, поєднання яких дозволяє отримувати конструкції з оптимальними параметрами.
2. Широке застосування композити знайшли в машинобудуванні та космічно-авіаційній галузях. Зокрема широкого застосування знайшли стільникові конструкції, обробку яких необхідно оптимізувати.
3. Струминно-лазерний метод обробки є найкращим методом обробки композитних матеріалів. Зокрема:
 - даний метод обробки володіє найкращими показниками продуктивності серед інших методів обробки різанням;
 - за даним напрямком гібридної обробки проводяться великі обсяги наукових робіт, як в межах України, так і за кордоном.
 - широкого застосування, даний метод обробки, набув при обробці твердих сплавів та інших важкооброблюваних матеріалів.
 - Струминно-лазерна обробка забезпечує високі показники якості крайок оброблюваних матеріалів.

Тому, на підставі вище сказаного, можна сформулювати задачу проекту.

Метою даного проекту є створення пристрою на основі струминно-лазерного методу обробки для забезпечення широких технологічних можливостей обробки композитних матеріалів.

2. Будова стенду для гібридної обробки.

2.1 Аналіз конструкцій існуючих верстатів.

Єдиним виробником верстатів струминно-лазерного впливу є швейцарська фірма Synova. Фірма Synova має широку лінійку верстатів для різного призначення. Які мають високі показники продуктивності, точності та якості поверхні. Зокрема, фірмою Synova було розроблено спеціальну установку для розкрою листового матеріалу LCS 800 (рис.2.1.) характеристики якого наведені в таблиці 2.1[40].



Рис.2.1. Установка лазерної різки LCS 800 фірми Synova [40].

Представлена установка – трьохосьовий верстат для лазерного різання з інтегрованою технологією Laser MicroJet. Розроблена дана установка для виконання високоточних різальних та свердлильних операціях в різних сферах промисловості для виконання, як невеликих серій та прототипів, так і виробництво великого обсягу продукції. Основна область застосування установки даного типу – механічна обробка вузлів напівпровідникового обладнання виготовлених з металу, кераміки або композиту (наприклад карбід кремнію (SiC), нітрид кремнію (SiN), керамічні матричні композити (CMC), карбід вольфраму (WC), кубічний нітрид бору (CBN). Характеризується великою робочою областю до 1200мм, малою шириною різку– 30

мкм, високою швидкістю різки до 20 отворів в секунду та відсутністю управління фокусуванням завдяки великій робочій відстані. Обладнаний системою зміщення калібрування, яка включає в себе: автоматичне вирівнювання лазерного сопла, автоматичну корекцію кута струменя та керування потужністю лазера. Недоліком даного верстату є висока вартість.

Таблиця 2.1. Характеристики установки LCS 800 [40].

Осі	
Тип	ХУ- стіл, гранітна основа
Привід	Лінійні двигуни
Корисна робоча область, мм	630 x 850
Максимальний крок, мм	700 x 900
Точність, мкм	±5
Максимальна швидкість по осям, мм/с	1000
Управління	Delta Tau
Лазер	
Тип лазера	Діодна накачка, твердотільний Nd:YAG імпульсний
Довжина хвилі, нм	532
Середня потужність, Вт (max)	50 або 100 (оптоволоконний лазер)
Частота імпульсу, Гц	2000 або 50 (оптоволоконний лазер)
Тривалість імпульсу, мкс	30 або 500 (оптоволоконний лазер)
Передача лазера по оптоволоконному кабелю діаметром, мкм	100
Водяна помпа	
Тип	Двоциліндровий підсилювач тиску
Потік води, л/хв (max)	0.05
Тиск води, бар	20-500
Передача тиску	Гнучкий шланг

Діаметр насадки, мкм	30,35,40,50,60,75 та 100
Вимоги для підключення	
Електроживлення, В	3 фази, 380 В, 50–60 Гц
Енергоспоживання, кВт	17
Тиск повітря, бар	5–6 (повітря без домішок мастила)
Витрата води для охолодження, л/хв (max)	181 при 16 С°, промислова вода, фільтрована, дегазована, деіонізована
Гелій	Балон 50 л, витрата 150 –200 л/год
Габаритні розміри, вага	
Габарити, мм (ШхГхВ)	1960 x 1650 x 2000
Вага, кг	3500
Програмне забезпечення CAM/CAD	Конвертер Gerber – файлів для Windows 2000/XP

Подібний верстат струминно-лазерного впливу є і в Україні розроблений на кафедрі ПОМФТО КрНУ ім. М. Остроградського (м. Кременчук) – спеціальний струминно-лазерний комплекс з п'яти координатною системою ЧПК ЛСК – 500 (рис.2.2.) [15,32,33,34]. Даний верстат призначений для виконання струминно-лазерного, лазерного, струминного, струминно-абразивного розкроювання листовий матеріалів товщиною до 20 мм з габаритами листа до 1800x2000мм. Технічні характеристики верстата приведені в таблиці 2.2.



Рис.2.2. Загальний вигляд верстату ЛСК-500 [33]

Таблиця 2.2. Технічні характеристики комплексу ЛСК-500[15].

Потужність головного приводу, кВт	40
Максимальний тиск, МПа	380
Розмір робочого столу, мм	1500 x 2200
Точність відпрацювання переміщень, мм	$\pm 0,01$
Загальна потужність, кВт	45
Тип лазера	Yag:Nd
Довжина хвилі променя, нм	1062
Середня потужність випромінювача, Вт	410
Частота імпульсів, Гц	50 –1000

За конструкцією верстата робочий стіл виконаний нерухомим (рис.2.3). Переміщення здійснює струминна головка, яка встановлена на траверсі 4 з можливістю

вертикального переміщення по координаті Z вздовж балки 5, що здійснює переміщення уздовж координати X по напрямним 2,3 столу. Переміщення виконується двома синхронізованими приводами подач 9,10, по одному на кожній балці 2,3, з синхронізацією за кутом повороту валів приводних двигунів.

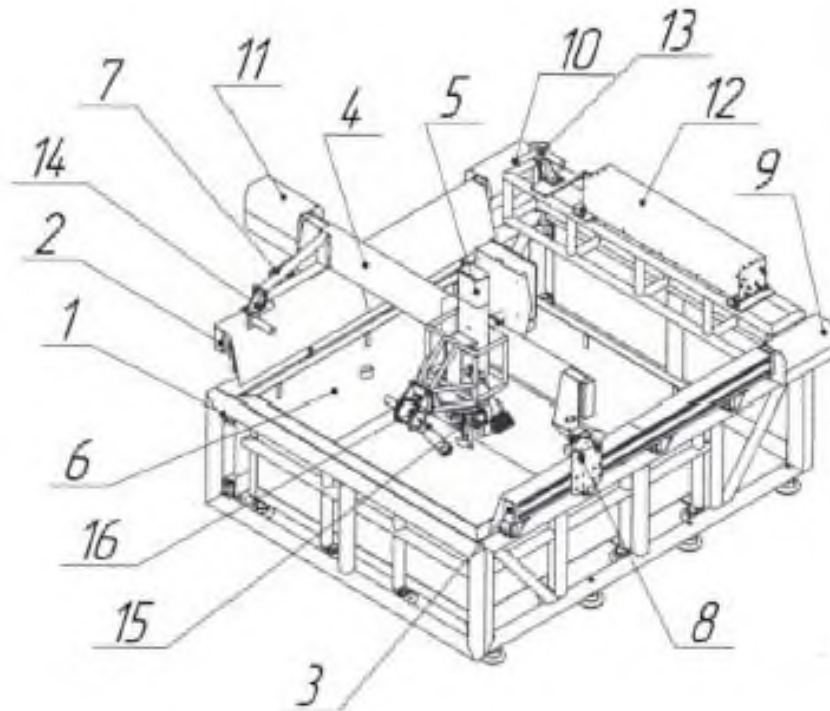


Рис.2.3. Компонувальна схема верстата [15,33].

1 – несуча система; 2,3 – балки повздовжнього переміщення; 4 – балка поперечного переміщення; 5 – балка вертикального переміщення; 6 – водоприймач; 7 – система «летючої оптики» твердотілого лазера; 8 – каретка силового привода; 9,10,11 – приводи переміщення; 12 – випромінювач лазера; 13,14,16 – вузли повороту променя; 15 – обертальна головка (з двома додатковими поворотними координатами В та С).

Сама головка (рис 2.4.) на додатковій каретці переміщується напрямними траверси 4 за координатою Y. Додатково на обертальній головці 15 встановлено два обертальні приводи – довкола осі В та осі С, розташованій у горизонтальній площині. Оснащена електромеханічними приводами подач з кульково-гвинтовою пере-

дачею та кроковими двигунами типу ШД–5М. Напрявні додатково розвантажуються стисненим повітрям для підвищення показників точності. За джерелами [15,32,33] структурна схема комплексу відповідає формулі $Z_{xy}OXYZacP_z$.

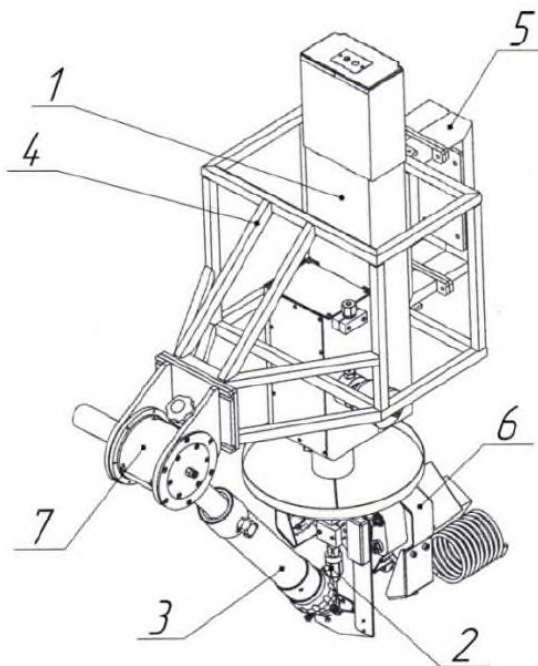


Рис.2.4. Вузол робочої головки ЛСК-500.

1 – балка вертикального переміщення робочого органу; 2 – струминна головка; 3 – Тубус фокусування лазера у фокальній площині по вертикальній координаті (Z координаті); 4 – несуча система тубусу; 5 – каретка поперечного переміщення (Y-координати); 6 – шарнір високого тиску(забезпечує обертові переміщення струмене-формуючого органу); 7 – шарнір повороту тубусу (забезпечує введення променя у потік рідини)

2.2 Обґрунтування та вибір компоновки верстата.

Виходячи з опису конструкцій наведених вище верстатів, установки даного типу характеризуються габаритним нерухомим робочим столом над площиною якого здійснює переміщення робоча головка. Дана схема має раціональне використання коли оброблювана деталь має великі габаритні розміри та велику масу. В середньому питома маса типова маса тришарової панелі з СК становить $3,94 \text{ кг/м}^2$. За розмірами оброблюваних деталей на розроблюваному верстаті було обрано розмір

робочого столу 500мм x 400мм. Тому середня маса оброблюваної деталі за формулою (2.1)

$$m_{\text{сер}} = c \times S = 3.94 \times (0.5 \times 0.4) = 0.788 \text{ (кг)} \quad (2.1)$$

Раціонально буде виконати рухомий робочий стіл з стаціонарною траверсою на якій буде розміщена робоча головка.

2.3 Принципова схема верстату.

На рис. 2.5 наведено принципову схему верстату для гібридної обробки крайок КМ.

Верстат складається з приводу переміщення робочого столу 1, який закріплений на станині 2; робочої головки 3, що встановлена на лінійних підшипниках 17 з можливістю переміщення, ручного приводу переміщення лазерної головки 4.

До складу приводу переміщення робочого столу входить робочий стіл 1, який встановлений на лінійних підшипниках 11. На лінійних підшипниках 11 робочий стіл здійснює поздовжнє переміщення вздовж лінійних напрямних 12, які зафіксовані в опорах 13, що кріпляться на станині 2. Переміщення робочому столу 1 передається за допомогою двигуна 5, який через кулачкову муфту 6 передає крутний момент на гвинт ШГП 7. Гвинт 7 зафіксований у передній 10 та задній 9 опорах, які встановлені на станині 2. За допомогою гайки 8 яка закріплена на робочому столі 1 обертовий рух гвинта 7 перетворюється у поступальний рух вздовж напрямних 12.

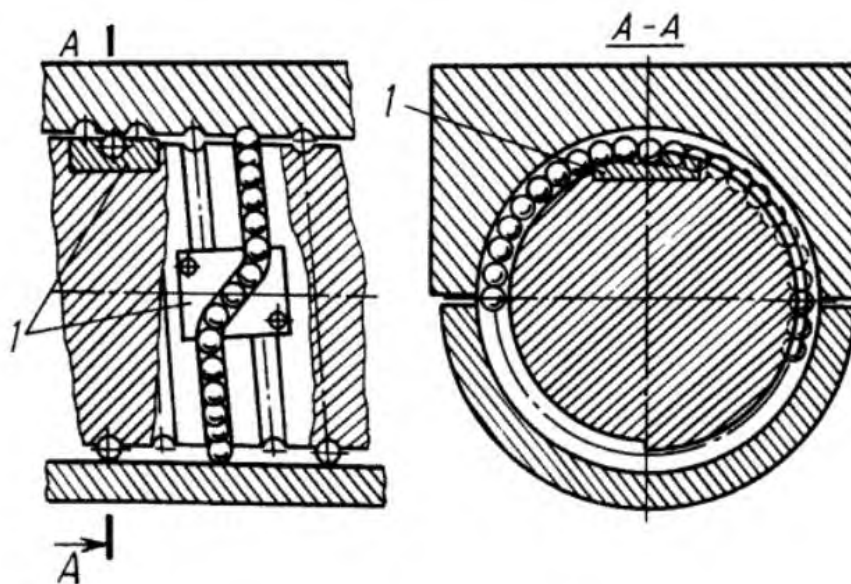
Ручний привід переміщення лазерної головки 4 фіксується на станині 2 за допомогою гвинтів, що дає змогу переміщення приводу 4 в поперечному напрямку робочого столу 1 та фіксації в потрібному положенні. Ручний привід 4 переміщення робочої головки 3 являє собою передачу гвинт-гайка, що складається з гвинта 15 та гайки 16, яка закріплена на пластині кріплення 20 лазерної головки 3. Для задання напрямку переміщення та більш плавного руху робочої головки 3 на пластині кріплення 20 встановлено лінійні підшипники 17 на напрямних 18, які зафіксовані на корпусі приводу 3 опорами 19. Рух переміщення робоча головка 3 отримує від маховика 14.

2.4. Розрахунок приводу переміщення робочого столу.

2.4.1. Розрахунок та вибір ШВП.

Розрахунок передачі (рис.2.6) виконано для приводу переміщення робочого столу верстату для гібридної обробки крайок КМ відповідно до кінематичної схеми рис.2.5. Приклад розрахунку параметрів ШГП наведено в джерелах [41, 42]. Передачі поділяються відносно умов і вимог роботи поділяють на три групи [41]:

1. Передачі, які не потребують регулювання зазорів, то що зазори вибираються в одну сторону під дією маси та гравітаційних сил, що діють на цей вузол.
2. Передачі, в яких неприпустимі зазори з не великими вимогами до осьової жорсткості – монтуються з невеликим натягом .
3. Передачі з неприпустимими зазорами та високими вимогами до осьової жорсткості – монтуються з натягом, який визначається осьовою жорсткістю.



2.6. Схема передачі гвинт гайка [41].

Відповідно до вихідних умов було прийнято наступні конструктивні параметри :

робоча довжина гвинта – $l = 1000$ мм;

загальна довжина гвинта – $L = 1060$ мм;

крок гвинта – $t = 5$ мм;

максимальна частота обертання – $n_{\max} = 100 \text{ об/хв}$;

мінімальна частота обертання – $n_{\min} = 10 \text{ об/хв}$;

осьове навантаження – $Q = 20 \text{ кг}$.

За рекомендаціями джерел [41, 42] бажано, щоб відношення довжини гвинта до діаметра було не більше ніж в 30 разів. Тому попередньо приймаємо номінальний діаметр рівний наступній величині:

$$d_0 = L/30 = 1060/30 = 15.8 \text{ мм} \quad (2.2)$$

За нормаллю Н23-7 приймаємо кут зачеплення $\alpha=45^\circ$, та $r_1/r_2=0,96$

Діаметр кульок розраховуємо за формулою 2.3 :

$$d_1 = 0,5t = 0,5 \times 10 = 5 \text{ мм}, \quad (2.3)$$

де t – крок гвинта.

Кількість робочих кульок в витку визначаємо:

$$z_i = \pi d_0 / d_1 - 2 = 3.14 \times 35.3 / 5 - 2 = 12 \quad (2.4)$$

Число робочих кульок у гайці, що містить п'ять робочих витків:

$$z = 5 \times 12 = 60 \quad (2.5)$$

За матеріал передачі приймемо сталь 08ХФ з приймаючи твердість після закалювання HRC 60. Найбільш поширеними є дві форми профілі різи (рис.2.7): напівкругла та стрілоподібна. Напівкруглий профіль різи є більш поширеним.

Допустиме статичне навантаження на одну кульку:

$$[P]_{\text{ст}} = 2 \times d_1^2 = 2 \times 5^2 = 50 \text{ кг}. \quad (2.6)$$

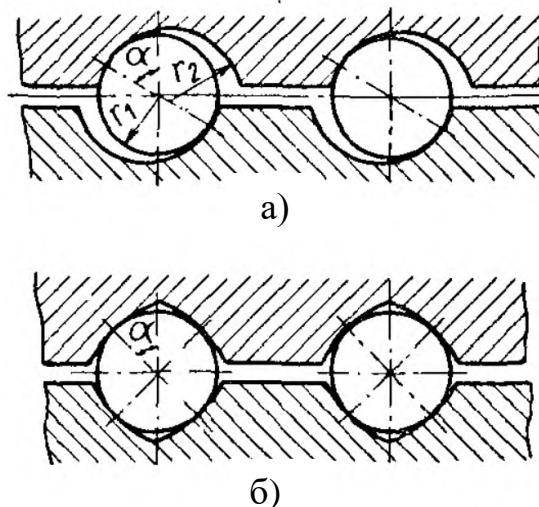


Рис.2.7. Профілі нарізи: а) напівкруглий; б) «стрілоподібна арка»

Розрахуємо допустиме навантаження на гвинт при відсутності натягу за формулою 2.7.

$$[Q]_{CT} = z_{роз} \times [P]_{CT} \times \sin \alpha \times \cos \lambda \quad (2.7)$$

де $z_{роз}$ – розрахункове значення кульок у гайці.

$$z_{роз} = k_z \times z_1 = 0.7 \times 60 = 42 \quad (2.8)$$

де $k_z = 0,7-0,8$ – коефіцієнт що враховує погрішність виготовлення гвинтового механізму

$$[Q]_{CT} = 42 \times 50 \times 0,707 \times 0,96 = 1425,3 \text{ Н}$$

Розрахуємо на довговічність по втомі поверхневих шарів контактуючих пар передачі. Даний розрахунок практично не відрізняється від розрахунку підшипників кочення, тому зручно провести розрахунок за допомогою коефіцієнта довговічності за формулою 2.9.

$$K = K_Q \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot T \cdot n \cdot c_i}{10^7}}; \quad (2.9)$$

– де, c_i – це число циклів навантаження за один оборот,

n – розрахункова частота,

T – розрахунковий час служби передачі в годинах, який дорівнює 5000 годин,

K_Q – коефіцієнт змінності навантаження

Число циклів навантаження за один оборот визначаємо за формулою:

$$c_i = 0,5 \times z_i (1 + r_1/r_0 \times \cos \alpha) = 0.5 \times 12 (1 + 0.96 \times 0.707) = 10 \quad (2.10)$$

Розрахункову частоту визначаємо з рівняння 2.11:

$$n = (n_{max} + n_{min})/2 = (10 + 100)/2 = 55 \quad (2.11)$$

– де, n_{min} – мінімальна частота обертання

n_{max} – максимальна частота обертання

Коефіцієнт змінності навантаження визначається за формулою 2.12:

$$K_Q = 0,6 + 0,4 \cdot \frac{Q_{min}}{Q_{max}}; \quad (2.12)$$

– де, Q_{\min} – мінімальне осьове навантаження на гвинт

Q_{\max} – максимальне осьове навантаження на гвинт

Але, оскільки ми рахуємо наближені значення, коефіцієнт можна прийняти

$$K_Q = 0,9$$

Тоді, коефіцієнт довговічності дорівнює:

$$K = 0,9 \times \sqrt[3]{\frac{60 \times T \times n \times c_i}{10^7}} = 0,9 \times \sqrt[3]{\frac{60 \times 5000 \times 55 \times 10}{10^7}} = 2,29$$

За джерелом [42] за умови коли $K \geq 1$ величина навантаження буде розраховуватись за формулами (2.13)

$$\begin{aligned} [P] &= \frac{[P]_{\text{ст}}}{K}; \\ [Q] &= \frac{[Q]_{\text{ст}}}{K}; \end{aligned} \quad (2.13)$$

Тоді,

$$\begin{aligned} [P] &= \frac{[P]_{\text{ст}}}{K} = \frac{50}{2,29} = 21 \text{ кг}; \\ [Q] &= \frac{[Q]_{\text{ст}}}{K} = \frac{1425,3}{2,29} = 622 \text{ кг}; \end{aligned}$$

Обираємо величину натягу в межах від 10 до 54 кг. При величині в 54 кг ККД зменшується до 0,74, а при величині в 10 кг ККД= 0,94 а момент холостого ходу збільшується в 5 разів. Обираєм значення 15 кг.

Визначим найбільше навантаження на вісь гвинта за формулами (2.14, 2.15):

$$[Q]_{\text{н}} = [Q] \frac{[P] - P_{\text{н}}}{0,55[P]} = 622 \frac{21 - 15}{0,55 \times 21} = 323 \text{ кг} \quad (2.14)$$

$$[Q]_{\text{н}} = 0,9[Q] = 0,9 \times 622 = 559,8 \text{ кг} \quad (2.15)$$

Оскільки значення формули (2.14) менше за значення (2.15) ніж на 10%, то при заданому навантаженні забезпечується натяг.

Розрахуємо величину лінійного зміщення для забезпечення натягу (2.16):

$$\delta_H = 6 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_H^2}{d_1}}; \quad (2.16)$$

Розрахуємо максимальну (2.17) та мінімальну (2.18) сили попереднього натягу P_H . При визначенні сил необхідно врахувати наступне:

1. При підвищенні натягу в з'єднанні підвищується осьова жорсткість передачі, водночас з тим зменшується ККД та підвищується момент холостого ходу.
2. Якщо вимоги до осьової жорсткості високі при чому з'єднання гвинт-гайка мають високу піддатливість, то раціонально призначити максимально допустимий натяг. А якщо вимоги осьової жорсткості невисокі та/або основну частину піддатливості складає гвинт (за умови що гвинт довгий), то раціонально призначити мінімально допустимий натяг.
3. При збільшенні натягу – збільшується область навантаження, що викликає ефект самогальмування передачі.

$$P_{Hmax} = [P]x \left(1 - 0.55 \frac{Q}{[Q]}\right) = 21x \left(1 - 0.55 \frac{20}{323}\right) = 20.3 \text{ кг} \quad (2.17)$$

$$P_{Hmin} = 0.5 \frac{Q}{Z_{роз} x \sin \alpha x \cos \lambda} = 0.5 \frac{20}{42 x 0.707 x 0.96} = 3,5 \text{ кг} \quad (2.18)$$

Тоді переміщення для максимального натягу:

$$\delta_{H1} = 6 x \sqrt[3]{\frac{20,3^2}{5}} = 26 \text{ мкм};$$

Для мінімального:

$$\delta_{H2} = 6 x \sqrt[3]{\frac{3,5^2}{5}} = 8 \text{ мкм};$$

Перерахуємо осьові переміщення гайки відносно гвинта за рахунок контактної деформації при впливі сили Q за формулою (2.19):

$$\delta = \frac{1.4}{\sqrt[3]{d_1 P_H Z_{роз}}} \frac{Q}{\quad} \quad (2.19)$$

Якщо навантаження менші чим допустимі величина $z_{роз}$ зменшується, тому необхідно перерахувати за формулою (2.20), яка враховує величину натягу в передачі:

$$z_{роз} = 0.7 \cdot z \cdot \sqrt{\frac{Q}{[Q]_H}} = 0.7 \cdot 42 \cdot \sqrt{\frac{20}{323}} = 7 \quad (2.20)$$

Тому, кількість кульок приймаємо 7.

Осьове переміщення для максимального натягу буде складати:

$$\delta_1 = \frac{1.4}{\sqrt[3]{d_1 P_H}} \frac{Q}{z_{роз.}} = \frac{1.4}{\sqrt[3]{5 \cdot 20,3}} \frac{20}{7} = 8 \text{ мкм}$$

$$\delta_1 = \frac{1.4}{\sqrt[3]{d_1 P_H}} \frac{Q}{z_{роз.}} = \frac{1.4}{\sqrt[3]{5 \cdot 3,5}} \frac{20}{7} = 15 \text{ мкм}$$

За розрахованими геометричними параметрами підберемо гвинт та гайку. За інтернет каталогами [43,44] вибираємо гвинт SFU1605 з робочою довжиною 1000мм та гайку SFU1605, також підбираємо задню опору BF12 та передню опору BF12.

2.4.2. Розрахунок крокового двигуна.

В сучасному машинобудуванні широкого застосування в механізмах верстатів та промислових роботах набули крокові двигуни [45]. Це пояснюється наступним рядом переваг крокових електродвигунів [46]:

1. Високою точністю та стабільністю кроку, можливість роботи з інерційними навантаженнями
2. Відсутність необхідності в зворотному зв'язку (правильне проектування та настроювання виключає можливість пропуску кроків).
3. Не висока вартість в порівнянні з іншими електродвигунами.
4. Легкість підключення та налагодження.
5. Надійність, довготривалий строк експлуатації.

При виборі крокового двигуна необхідно звертати увагу на наступні критерії:

1. Індуктивність. Висока індуктивність забезпечить можливість для більшого крутного моменту, але також потребує драйвер з високою напругою жив-

лення. При підборі двигуна необхідно обрахувати квадратний корінь з індуктивності і перемножити отримане значення на 32. Отримане значення необхідно порівняти із значенням напруги джерела живлення для драйвера – числа не повинні сильно відрізнятись. Якщо напруга живлення більше ніж на 30% буде сильно грітись та шуміти двигун. А якщо менше – крутний момент буде занадто швидко спадати зі швидкістю.

2. Графік залежності крутного моменту від швидкості. Дозволить визначити, чи задовольняє обраний двигун умовам ТЗ.
3. Геометричні параметри двигуна.

Проведемо експрес розрахунок крокового двигуна. Для розрахунку приймемо наступні параметрами:

Коефіцієнт тертя в напрямних – $\mu = 0,2$;

Вага деталі – $m_d \approx 2$ кг;

Вага столу – $m_c \approx 26$ кг;

Сила різання – $P = 1000$ Н;

Швидкість переміщення – $V = 0,5$ м/с;

Необхідне прискорення – $a = 2$ м/с².

Розрахуємо силу тертя в напрямних за формулою (2.21), для цього необхідно перемножити коефіцієнт тертя на вагу системи:

$$F_T = \mu g(m_d + m_c) = 0,2 \cdot 9,81 \cdot (2 + 26) = 54,936 \text{ Н} \quad (2.21)$$

Визначимо силу інерції, перемноживши масу столу з деталлю на необхідне прискорення:

$$F_I = a \cdot (m_d + m_c) = 2 \cdot 28 = 56 \text{ Н} \quad (2.22)$$

Визначимо повну силу опору, для цього потрібно знайти суму сил тертя, інерції та різання:

$$F_o = F_T + F_I + P = 54,936 + 56 + 1000 = 1110,936 \text{ Н} \quad (2.23)$$

Розрахуємо необхідну потужність двигуна (2.24) та механічну потужність (2.25). Оскільки у формулі відсутня інерція самого крокового двигуна та інших обертових

механізмів тому за рекомендаціями джерела [47] для підвищення точності розрахунку рекомендується збільшити або зменшити вимоги щодо прискорення на 10%.

$$N = a \cdot (m_d + m_c) = 2.2 \cdot 28 = 61.6 \text{ Н} \quad (2.24)$$

$$N = F_o \cdot V = 1110,936 \cdot 0.5 = 555.468 \text{ Вт} \quad (2.25)$$

Для визначення крутного моменту крокового двигуна в пристрої за допомогою гвинтової передачі скористаємось розрахунковою схемою рис.2.8.

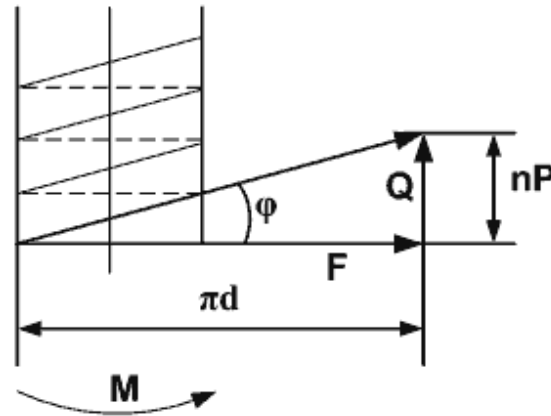


Рис. 2.8. Розрахункова схема для визначення крутного моменту крокового двигуна в системах з гвинтовою передачею [47]: d – діаметр гвинта; P – крок гвинта; n – кількість заходів; Q – осьова сила; F – сила опору.

Звідси:

$$M = F_o \cdot d/2 = 1110,936 \cdot 16 \cdot 10^{-3}/2 = 20.42 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.26)$$

За отриманими розрахунками підбираємо двигун. Найближчим за показниками є кроковий двигун NEMA 23HS8230 з наступними показниками:

Фланець – 57мм;

Довжина – 82 мм;

Діаметр вихідного валу – 8 мм;

Підключення – 4 провіда, 2 фази;

Номінальний струм – 3 А;

Маса – 1,4 кг;

Крок – $1,8^\circ \pm 5\%$;

Утримуючий момент – 22 кг/ см.

2.5. Розрахунок приводу переміщення робочої головки.

За вихідними даними привід переміщення має бути ручним. Для розрахунку скористаємось рекомендаціями джерел [41,48].

За вихідними умовами було прийнято наступні вихідні параметри:

довжина гвинта – $L = 300$ мм;

робоча довжина гвинта – $l = 250$ мм.

крок гвинта – $t = 2$ мм;

осьове навантаження – $m = 5$ кг;

За матеріали гвинта приймемо сталь 45, для гайки чавун марки СЧ 20.

Конструктивно приймемо гвинт та гайку з трапецеїдальною різьбою з кутом стандартного профілю 30° . Тому що, гвинти з такою різьбою технологічні, хоча радіальне биття створює погрішність кроку в даному випадку цим можна знехтувати оскільки даний привід ручний та використовується для підйому та опускання робочої головки над робочим столом. Зазор в з'єднанні буде компенсовано за допомогою розрізної гайки [41].

Проведемо розрахунок середнього діаметра гвинта передачі за умовами зносостійкості (2.27) за джерелами [41,48]:

$$d \approx \sqrt{\frac{Q}{\lambda[\sigma_k]}}, \quad (2.27)$$

де $\lambda = l/d = 1,5 \dots 4$; $[\sigma_k]$ – допустимий тиск контакті: для точних передач $[\sigma_k] = 3 \cdot 10^6$ Па, для інших передач $[\sigma_k] = 5 \cdot 10^6$ Па, Q – найбільше тягове зусилля.

Знайдемо тягове зусилля за формулою (2.28).

$$Q = mg = 5 \times 9,81 = 49,05 \text{ Н} \quad (2.28)$$

$$d_2 \approx \sqrt{\frac{Q}{\lambda[\sigma_k]}} = \sqrt{\frac{49,05}{3 \times 5 \times 10^6}} = 6,64$$

Визначений діаметр d_2 потрібно узгодити з параметрами стандартної різьби.

Оскільки руйнування різьби зустрічається доволі нечасто тому розрахунки гвинтів на міцність тільки при дії значних осьових навантажень. В нашому випадку

на гвинт діє незначне осьове навантаження, тому даний розрахунок немає необхідності проводити.

За ISO 2901 уточнюємо номінальний діаметр різьби.

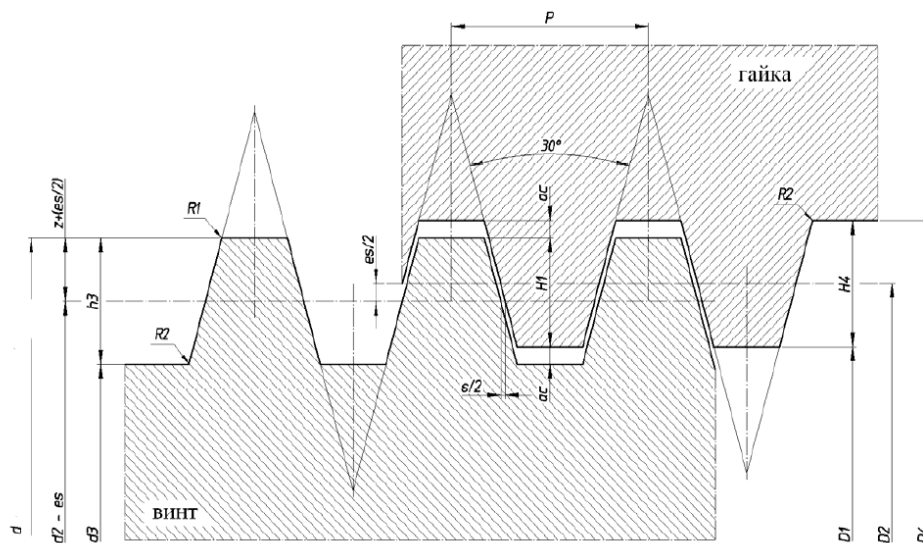


Рис. 2.9. Параметри трапецеїдальної різьби за ISO 2901 [49].

Визначаємо номінальний діаметр d різьби за формулами (2.29)

$$d = d_2 + 0,5P = 6,64 + 0,5 \times 2 = 7,64 \text{ мм} \quad (2.29)$$

Вибираємо найближче більше значення з стандартного ряду різьб Tr 8 x 2.

За формулами (2. 30 – 2.31) визначимо висоту гайки з умови міцності гайки за напруженнями зрізу:

$$\tau_{зр} = \frac{F_a}{\pi d k H} \leq [\tau_{зр}] \quad (2.30)$$

де d – номінальний діаметр різьби; k – коефіцієнт повноти різьби ($k=0,87$ – для трикутної різьби; $k=0,65$ – для трапецеїдальної; $k=0,5$ – для прямокутної); H – висота гайки.

Допустиме напруження $[\tau_{зр}] = (25...30)$ МПа – для бронзової гайки і $[\tau_{зр}] = (45...50)$ МПа – для чавунних гайок.

Звідси :

$$H = \frac{F_a}{\pi d k \tau} = \frac{49,05}{\pi \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,65 \cdot 45 \cdot 10^6} = 6.67 \text{ мм} \quad (2.31)$$

За ISO 2901 вибираємо гвинт та за розрахованими параметрами отримали габаритні параметри гайки.

2.6 Обґрунтування конструкції лазерної головки.

2.6.1. Методи введення лазерного променя в швидкоплинний потік рідини.

За джерелами [15, 50, 51] існує певна кількість варіантів введення лазерного променя в швидкоплинний потік рідини (рис.2.10).

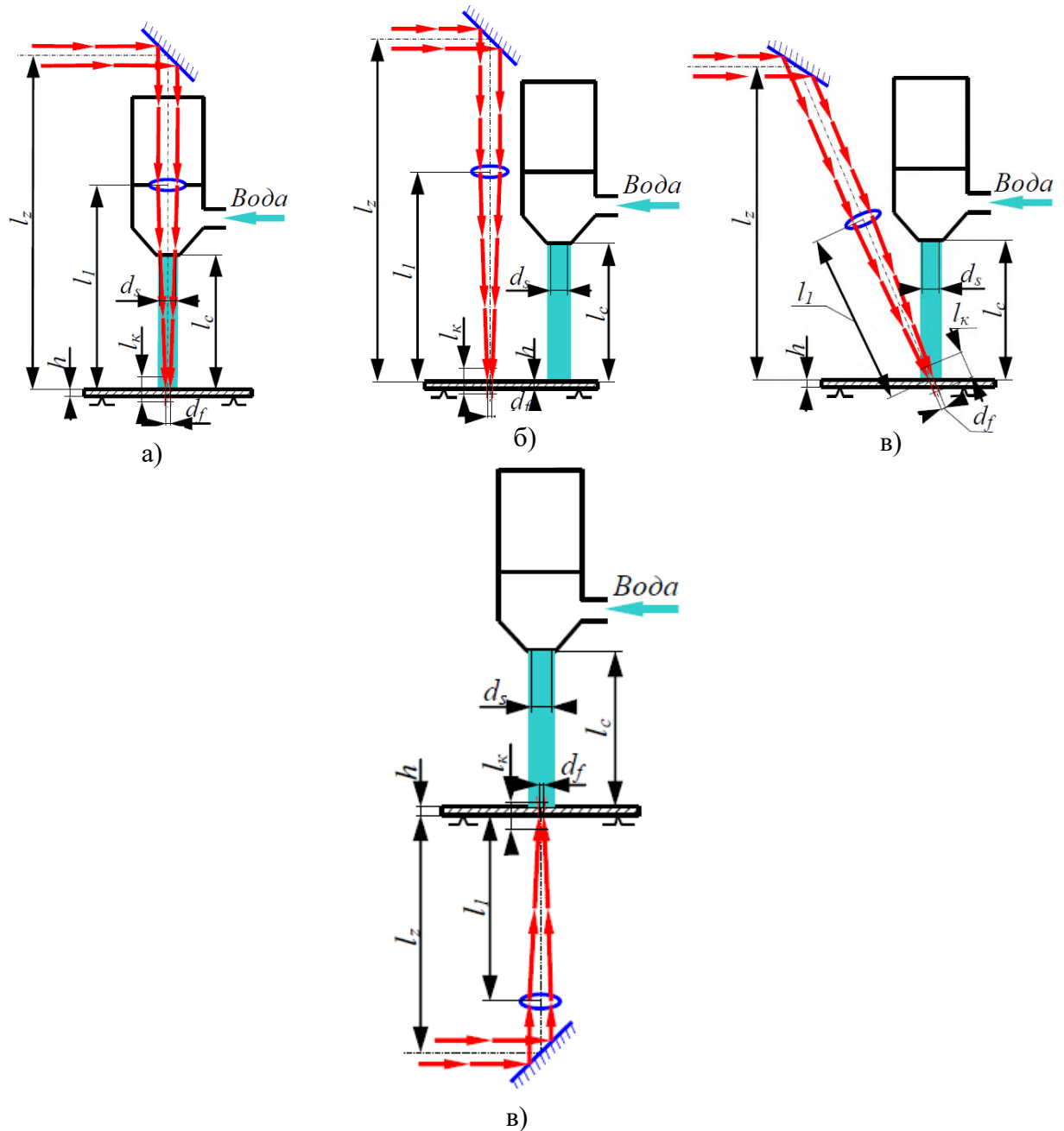


Рис.2.10 Методи введення лазерного променя в швидкоплинний потік [15]: а) – коаксіальне введення; б) – паралельний вплив; в) – кутове введення; г) – опозитний вплив.

За даними наведеними в джерелі [50] схема коаксіального введення (рис. 2.10 а) використовується в аерокосмічній, машинобудівній, автомобільній, медичній та електронній сфері для розкрою деталей. Даний метод обробки має ряд переваг та недоліків, зокрема до переваг методу можна віднести використання кільцевих сопел для операцій різання та прошивання з змогою використання сопел з калібрувальними каналами різної геометрії. Недоліком методу є використання високого тиску для створення швидкоплинного потоку до 50-80 МПа.

Схема паралельного впливу (рис. 2.10 б) може застосовуватись для обробки квазікрихких матеріалів [51], зокрема кераміки, дорогоцінного каміння (сапфір), скла. До переваг даного методу відносять утворення термонапружень, які перевищують межу міцності матеріалу і приводять до розколонування матеріалу по заданому контуру.

Кутове введення (рис. 2.10 в) застосовується для тих же випадків, що і методи описані вище. Перевагами даного методу є можливість регулювання кута падіння лазерного променя і відстані від швидкоплинного потоку рідини до теплової плями. До недоліків відносять значні втрати потужності лазерного променя при розсіюванні його через потік рідини.

Найскладнішою схемою струминно-лазерного різання є реалізація схеми оппозитного впливу [15]. Дана схема вимагає точного оппозитного розміщення лазерного променя та потоку рідини з різних сторін оброблюваної деталі, що має значні технологічні труднощі. Використовується дана схема для обробки тонких матеріалів, що можна віднести до недоліків.

При струменево-лазерному різанні матеріалів на поверхні заготовки виникають досить цікаві явища. Зокрема, на оброблювану поверхню одночасно діють температури від лазерної різки та від потоку рідини, тому оброблювана поверхня піддається так званим термо-гідродинамічним навантаженням. З одного боку оброблювана

поверхня сприймає ударне гідродинамічне навантаження та температурне навантаження одночасно [52].

Як відомо, лазерний промінь падаючи на поверхню протягом певного часу створює локальний нагрів так званої зони опромінення. Щільність енергії, яка буде поглинена може бути визначена за формулою [53]:

$$q(x) = q_0 \exp(-x^2/r^2) \quad (2.32)$$

де q_0 – щільність потужності випромінювання в центрі плями фокусування; r – радіус променя з урахуванням розподілу щільності випромінювання за законом Гаусса; x – радіальна відстань від центру джерела теплоти.

Розподілення тепла на поглинаючій поверхні визначається наступним рівнянням:

$$T(x, z, t) = \frac{q(x)r^2}{\lambda} \left(\frac{a}{\pi} \right)^{1/2} \int_0^t \frac{P(t-\tau) \exp \left[\frac{z^2}{4a\tau} - \frac{x^2}{4a\tau} \right]}{\sqrt{\tau} (4a\tau + r^2)} d\tau, \quad (2.33)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності; a – температуропровідність матеріалу заготовки; t – час впливу; x, z – координати; P – потужність лазерного випромінювання

Температура на поверхні напівбезмежного тіла в точці за умови переміщення лазерного променя вздовж поверхні з швидкістю v , визначається як:

$$\bar{T} = \frac{16}{\sqrt{\pi}} \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{(c'^2 + \tau^2)(b'^2 + \bar{\tau}^2)}} \exp \left[-\frac{(2\bar{x}'^2 + \bar{v}'\tau)^2}{4(\bar{c}'^2 + \bar{\tau}^2)} - \frac{\bar{y}^2}{\bar{b}^2 + \bar{\tau}^2} - \frac{\bar{z}^2}{\bar{r}^2} \right] d\tau, \quad (2.34)$$

де $\bar{T} = \frac{16\sqrt{\pi K r T}}{P A_0}$; $\bar{v} = \frac{v_r}{2a}$; $\bar{x}' = \frac{x}{r}$; $\bar{y}' = \frac{y}{r}$; $\bar{z}' = \frac{z}{r}$; $\bar{c}' = \frac{c}{r}$; $\bar{b}' = \frac{b}{r}$; $r^2 = cb$;

A_0 – відбивна здатність матеріалу;

P – потужність лазерного випромінювання;

b, c – параметри розподілу щільності потужності лазерного випромінювання (за законом Гаусса).

Аналізуючи дані рівняння можна дійти висновку, що ділянка заготовки з термічною деструкцією матеріалу може бути достатньо значною. Дану особливість слід врахувати при збільшенні товщини заготовки.

Для визначення температурного поля при охолодженні потоком рідини можна за рівнянням [15]:

$$T(x, y, z, t) = \frac{P}{\pi \frac{1}{2} \rho c} \int_0^t \frac{e^{\frac{(x-v(t-\tau))^2}{4\alpha\tau+A^2} - \frac{y^2}{4\alpha\tau+B^2}}}{[(4\alpha\tau+A^2)(4\alpha\tau+B^2)\alpha\tau]^{1/2}} \times \left[e^{-\frac{z^2}{4\alpha\tau}} - \eta(\pi\alpha\tau)^{1/2} \operatorname{erfc}\left(\frac{z}{2(\alpha\tau)^{1/2}} + \eta(\alpha\tau)^{1/2}\right) \times e^{\eta z + \eta^2 \alpha\tau} \right] d\tau, \quad (2.35)$$

x, y, z – координати;

t – час;

η – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні заготовки;

α – коефіцієнт теплопровідності;

A і B – велика і мала півосі струминно-лазерного потоку;

$P = \pi q A B$ – потужність лазерного випромінювача.

Потік рідини не тільки, крім того, що має властивість змінювати епюру розподілу випромінювання по поверхні (як наслідок відбиття променя від оболонки ламінарного потоку), має властивість при натіканні на поверхню обробки охолоджувати її, через відведення теплоти із зони лазерної дії. Як результат, поширення деструктивної термічної зони не буде розширюватись. За джерелом [15] вплив потоку рідини враховується при наступних граничних умовах:

$$c_p \frac{dT}{dt} - \lambda \Delta T = \frac{(T - R_0) k P}{\pi A B} \exp \times \left[-2 \left(\frac{(x - vt)^2}{a^2} + \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right) \right] \times \exp(-kz), \quad (2.36)$$

$$\lambda \left. \frac{dT}{dz} \right|_{z=0} = \alpha(T)(T - T_p).$$

За даними з джерела [15] під час струминно-лазерної обробки відбувається руйнування матеріалу внаслідок циклічної дії термічного навантаження яке продовжується від утворення ванни розплаву до наступного гідродинамічного удару, що призводить до змикання ванни і відведення продуктів руйнування із зони різання. На основі даних розрахунків було доведено, що підвищення інтенсивності охолодження призводить до зменшення розповсюдження тепла і його локалізації ближче до центру впливу. Тому руйнування оброблюваного матеріалу буде відбуватись в зоні, що відповідає площі перетину термічного впливу $\leq 0.1 - 0.15\text{мм}$. Потік рідини також викликає нерівномірне охолодження, оскільки натікаючи на перепону (в даному випадку на оброблювану поверхню) починає розтікатись.

З описаного вище можна зробити висновки, що при зміні форми плями нагріву та умови охолодження визначаються перебігом рідини в струмені. Тому, зміна швидкостей або напрямків течії призводить як до втрат потужності, так і до зміни форми променя.

За результатами досліджень наведених в джерелі [15] на потік рідини значно впливає форма отвору насадку та відстань від торця насадку до оброблюваної площини.

На рис. 2.11 наведено результати моделювання потоку рідини в середовищі Flow Vision.

Як видно з рисунку 2.11 розсіювання потоку значно відрізняється від форми отвору сопла. Зокрема найстабільніший потік рідини відбувається при круглому перетині вихідного отвору сопла.

В таблиці 2.3 наведено плями контакту потоку рідини з перешкодою (оброблюваною поверхнею) в залежності від відстані до контактуючої площини та форми перетину сопла.

З вище наведених результатів дослідження можна дійти висновку, що пляма контакту збільшується з віддаленням від сопла та змінює свою форму, що може викликати ослаблення інтенсивності лазерного випромінювання.

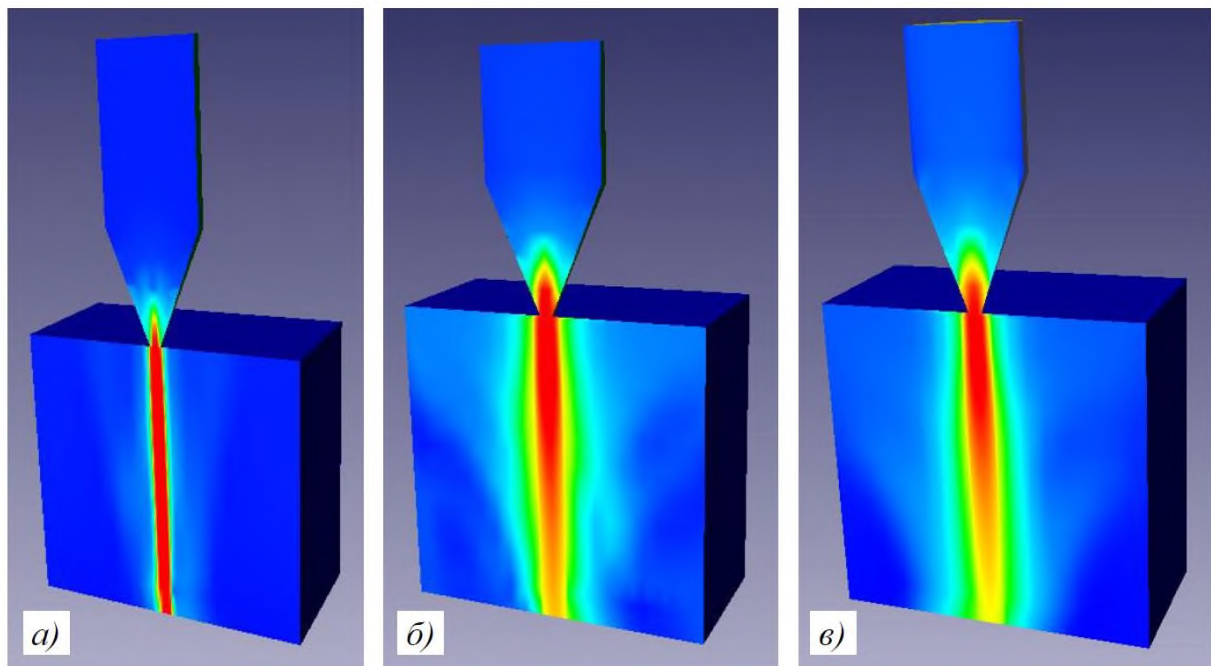
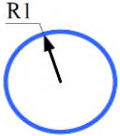
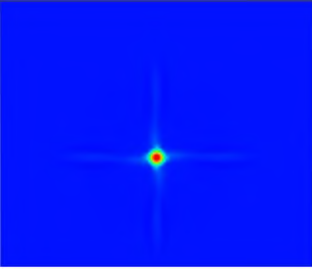
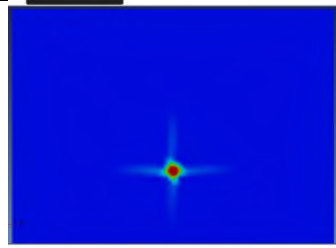
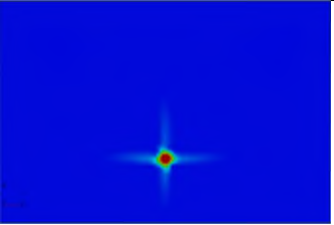
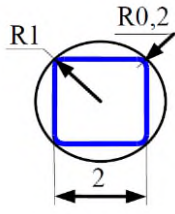
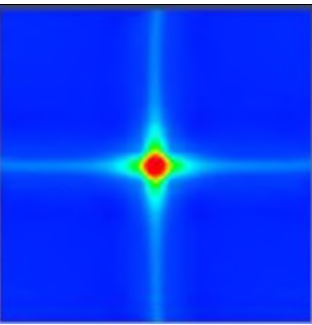
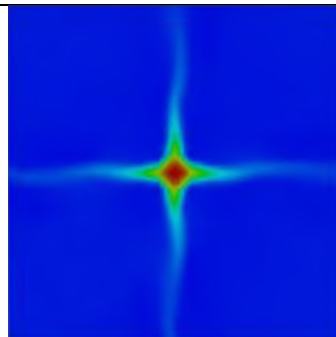
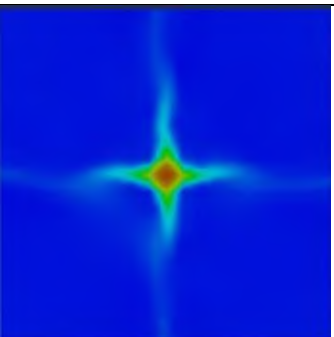
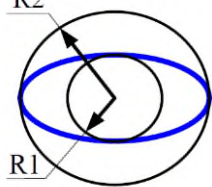
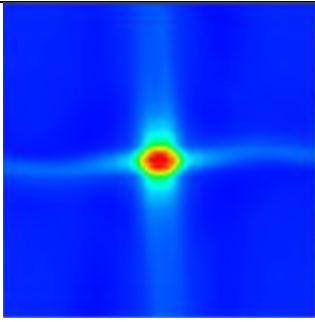
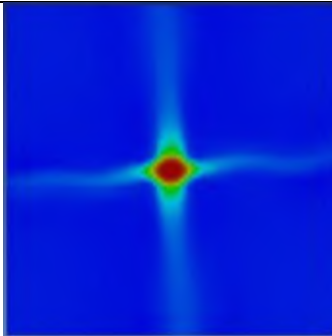
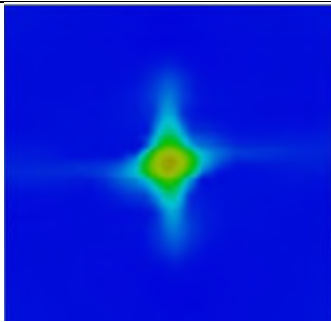


Рис.2.11. Результати моделювання потоку в середовищі Flow Vision [15]. Витікання рідини з насадка через отвір: а) – круглий отвір; б) – квадратний отвір; в) – еліптичний отвір.

Таблиця 2.3. Пляма контакту рідини з поверхнею.

№	Форма перетину сопла	Відстань від торця 10 мм	Відстань від торця 25 мм	Відстань від торця 50 мм
1	 $R1 = 1 \text{ мм}$			
2				

№	Форма перетину сопла	Відстань від торця 10 мм	Відстань від торця 25 мм	Відстань від торця 50 мм
3				

В свою чергу це може призвести до того, що ерозія матеріалу не відбуватиметься.

З наведених вище результатів досліджень можна зробити наступні висновки, що найкращим варіантом введення лазерного проміння в потік рідини – коаксіальне введення. Оскільки даний варіант введення краще досліджений та має промислове застосування у різних галузях. Також даний метод забезпечує найкращі показники шорсткості крайки зрізу $Ra = 0,8 - 1,2 \text{ мкм}$ [15].

2.6.2. Розробка конструкції струминно лазерної-головки.

Як було описано в п.2.1. на даний момент в світі існує лише один виробник струминно–лазерного обладнання в промислових масштабах – швейцарська фірма Synova, яка з 80-х років минулого століття проводить роботи по даному напрямку.

В основі робочої головки фірмової головки закладено схему коаксіального поєднання рідини на лазера для обробки заготовок з різних матеріалів.

На рис. 2.12 наведено наочне зображення струминної головки фірми Synova. Основним елементом робочої головки є циліндричний корпус, який одним торцем кріпиться до оптичної лазерної системи за допомогою центрувального елементу. З іншого торця до корпусу кріпиться сопло, яке разом з корпусом утворює камеру для підведення інертного газу. В центральній частині робочої головки виконана протоčka в яку встановлюється прозора лінза для фокусування лазерного променя.

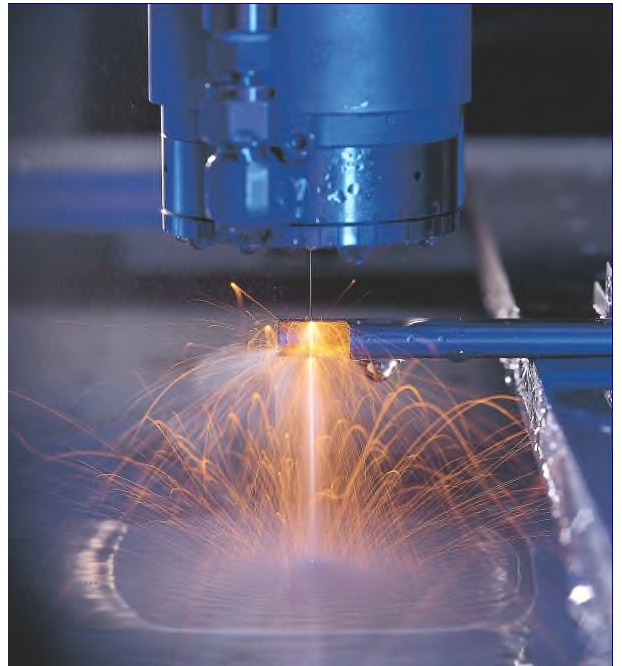
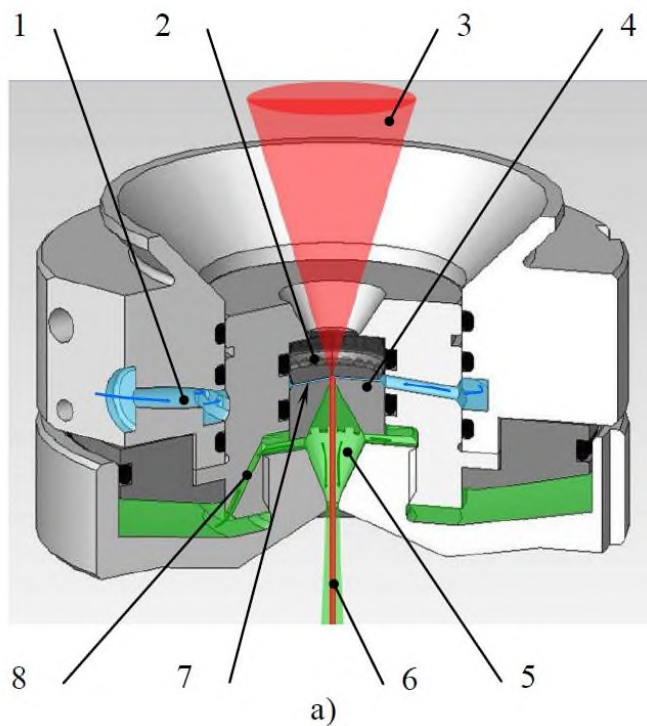


Рис.2.12. Робоча головка фірми Synova [54]: а) схематичне зображення; б) промисловий зразок.

1 – канал підведення холодагенту;

2 – оптичний елемент вікна, для введення лазерного променя в струмінь холодагенту;

3 – промінь лазера;

4 – насадок з соплом;

5 – камера, формуюча струмінь холодагенту (введення під тиском нейтральних газів, в даному випадку гелія);

6 – струмінь холодагенту з введенням в нього лазерним променем і захисною оболонкою з нейтрального газу;

7 – камера з напруженням, яке підводиться холодагентом;

8 – канал для підведення нейтральних газів до струменя холодагенту.

Під прозорим вікном корпус разом з соплом утворює порожнину в якій відбувається формування швидкоплинного потоку.

За джерелом [15] основним недоліком даного пристрою є висока вартість та обмежений термін експлуатації, який пов'язаний з пошкодженням фокуруючої лінзи внаслідок гідродинамічних навантажень.

Аналогічний пристрій було розроблено і в Україні, зокрема на кафедрі ПОМФТО КрНУ ім. М. Остроградського для верстату описаного в п.2.1 було розроблену подібну робочу головку [55]. На рис. 2.13 наведено конструктивну схему даного пристрою.

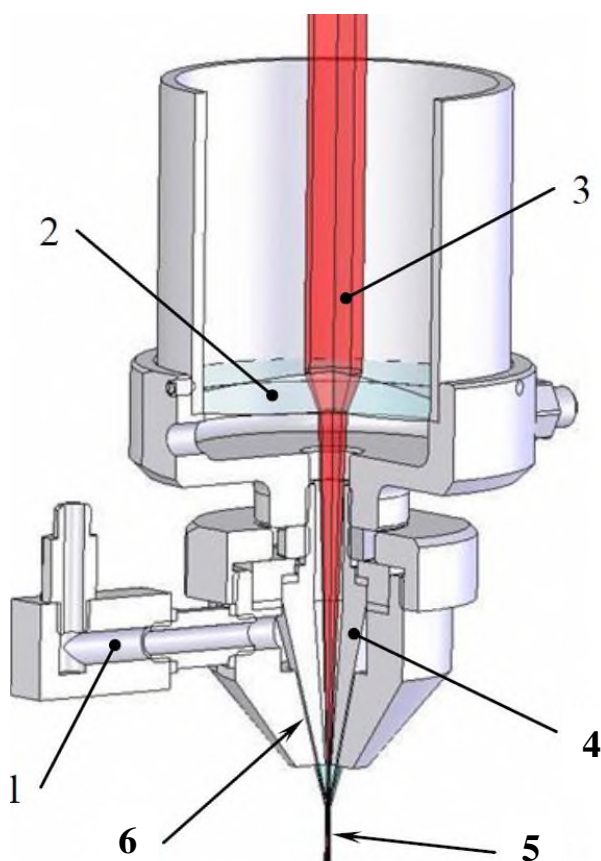


Рис.2.13. Робоча головка розроблена на кафедрі ПОМФТО ім. М. Остроградського [15, 55].

1 – канал підведення холодагенту;

2 – оптичний елемент вікна, для введення лазерного променя в струмінь холодагенту;

3 – лазерний промінь;

4 – конічна вставка;

5 – сформований струменево-лазерний потік.

6 – кільцевий конічний канал для підведення холодагенту.

Даний пристрій дозволяє використання різних форм насадки, що дозволяє розширити технологічні властивості та має нижчу вартість. Але за джерелом [56] при нестабільних режимах роботи може виникати явище виходу лазерного променя за межі швидкоплинного потоку рідини.

В роботі [15] було розроблено оригінальну конструкції робочої головки (рис.2.14). Принцип дії даної конструкції подібний до конструкції вище описаної головки. Але там автор Холодний В.Ю. ставив за мету підвищення терміну служби пристрою та розширити його технологічні властивості.

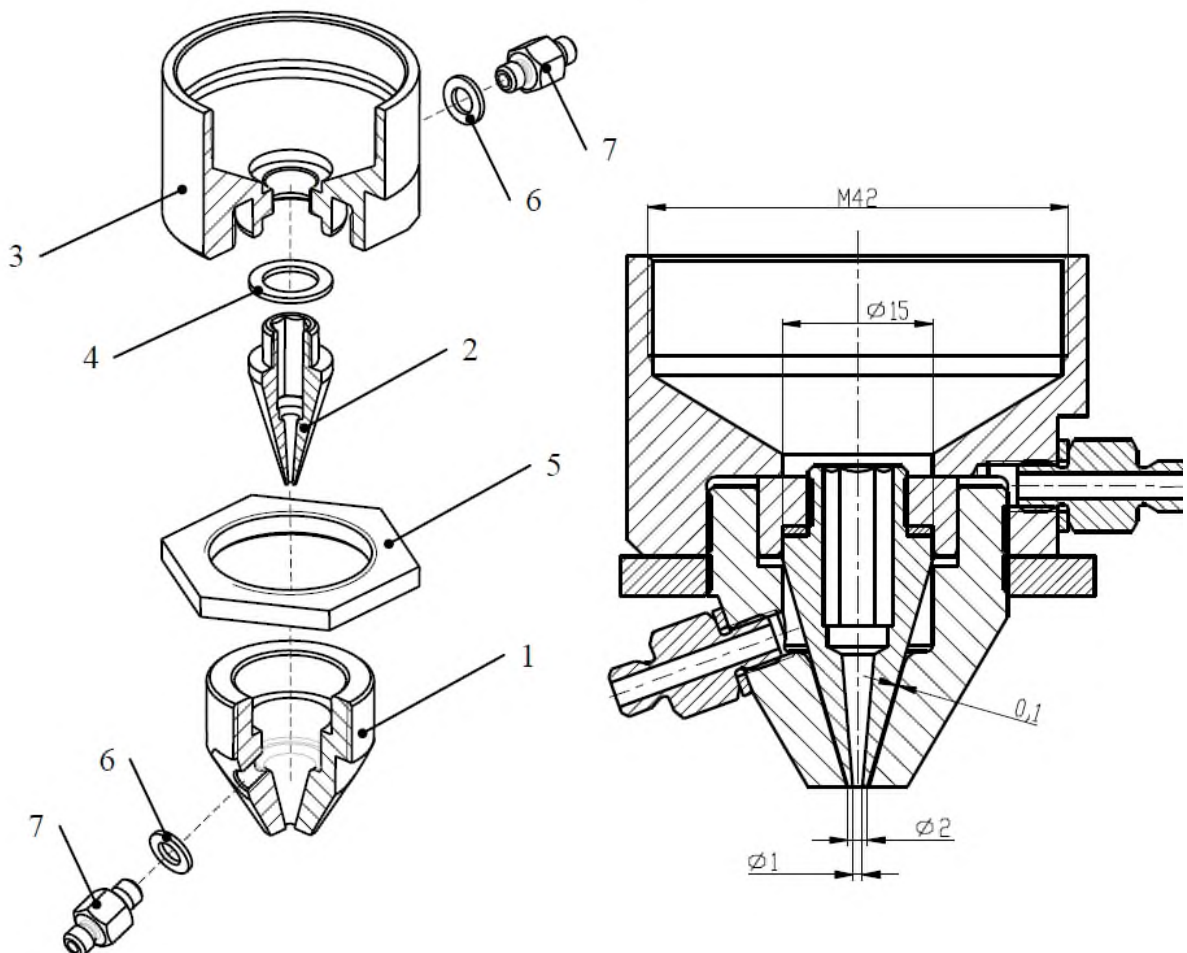


Рис. 2.14 Конструкція робочої головки розроблена Холодним В.Ю.: 1–насадок; 2–конічна порожнинна вставка; 3 – кронштейн кріплення насадка до оптичної системи; 4 – ущільнювальне кільце; 5 – стопорна гайка; 6 – шайба; 7– штуцер.

Оскільки описані головки простіші, мають меншу вартість та ширші технологічні властивості раціонально буде провести розробку конструкції робочої головки а їх базі. Беручи до уваги дані описані в джерелах [15, 55, 56] компенсація виходу лазерного променя з потоку рідини буде виконуватись за допомогою допоміжного кільцевого потоку рідини навколо основного потоку, дане рішення має екранувати лазерний промінь при його виході із основного потоку.

Висновки до розділу.

1. Розроблено кінематичну схему варіантів верстату для гібридної обробки композитних матеріалів.
2. Виконано розрахунки приводів для основних приводних вузлів верстата.
3. Вибрано основні несучі елементи конструкції.
4. Вибрано схему введення лазерного променя в потік рідини та проаналізовано конструкції існуючих робочих головок.
5. Необхідно розробити конструкцію верстату і його робочої головки, та виконати аналіз напружено-деформованого стану для основних несучих вузлів.
6. Виконати віртуальний експеримент роботи робочої головки верстату.

3. Конструкція верстату та перевірка основних вузлів за допомогою віртуального експерименту

3.1 Загальний вигляд верстату.

Загальний вигляд верстату для струминно-лазерної обробки композитних матеріалів представлено на рис.3.1.

Верстат складається із зварної станини 1, на траверсі якої встановлено привод робочої головки 2, а на горизонтальній площині станини 1 – робочий стіл з приводом 3.

Привод переміщення робочої головки 2 встановлюється співвісно прорізу в траверсі станини 1 і фіксується на за допомогою болтів 7 через притискних елементів 4 (розріз Б-Б на рис. 3.1). Притискні елементи 4 слугують для співвісного розташування приводу робочої головки 2 в прорізу траверси станини 1, розподіляють силу затиску болтів 7 на більшу площу (що запобігає зминанню матеріалу траверси станини 1) та забезпечують співвісний напрям переміщення приводу робочої головки 2, у вертикальній площині траверси, при налагодженні.

Привод робочого столу 3 встановлюється опорними елементами на стіл станини 1 та закріплюється за допомогою болтів 6,10,11, 12 (розрізи Е-Е, З-З, Д-Д, Ж-Ж, на рис.3.1 відповідно).

3.2 Станина

Ізометричне зображення станини представлено на рис.3.2.

Корпус станини є зварною конструкцією, що складається із стола 1 та траверси 2 на ньому. Матеріалом станини є труба квадратного перетину 30х30 та виробі із листового металу. В корпусі станини є відповідні оброблені поверхні для розміщення приводів переміщення робочої головки та робочого столу.

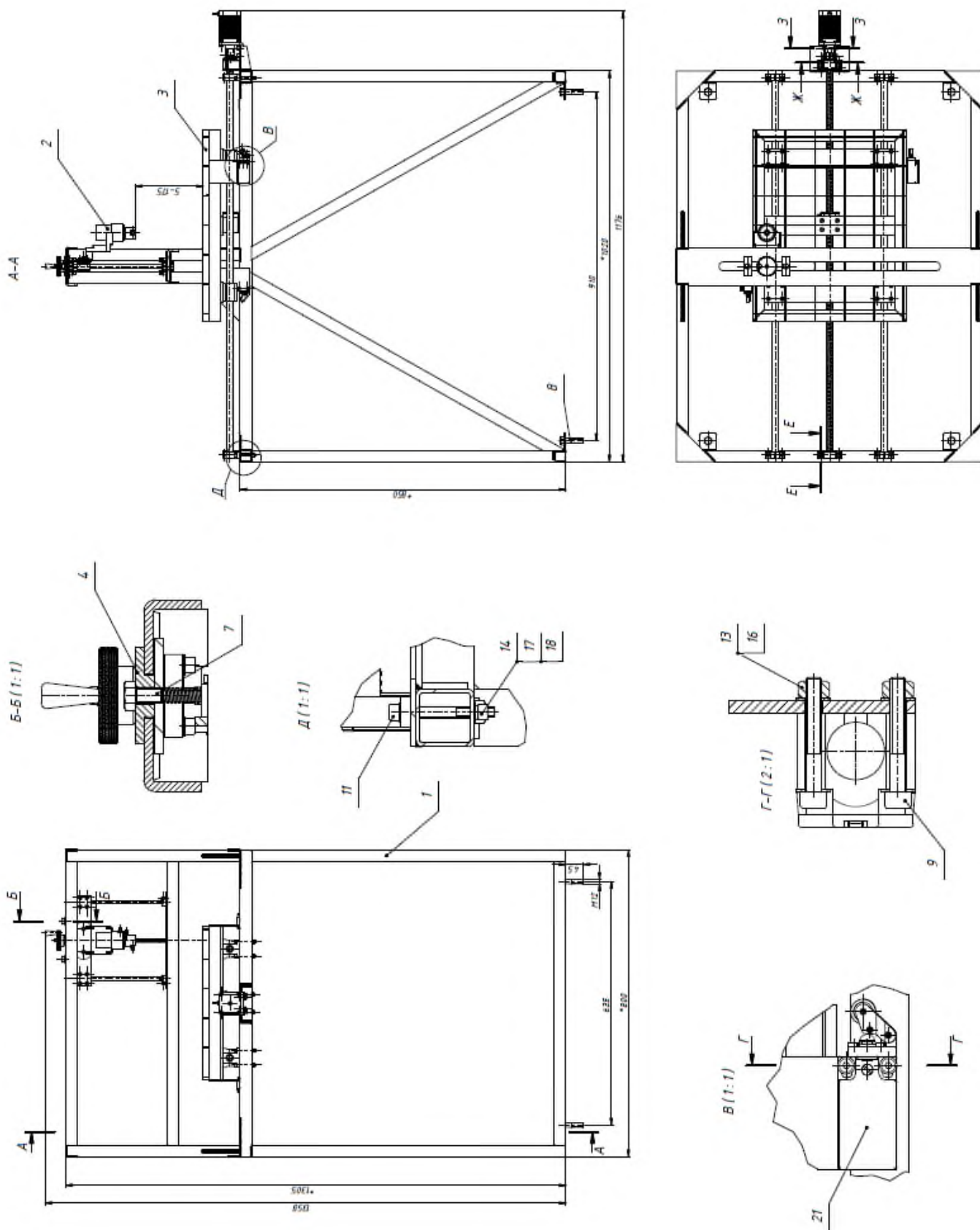


Рис.3.1. Загальний вигляд верстату для гібридної обробки струминно-лазерним методом.

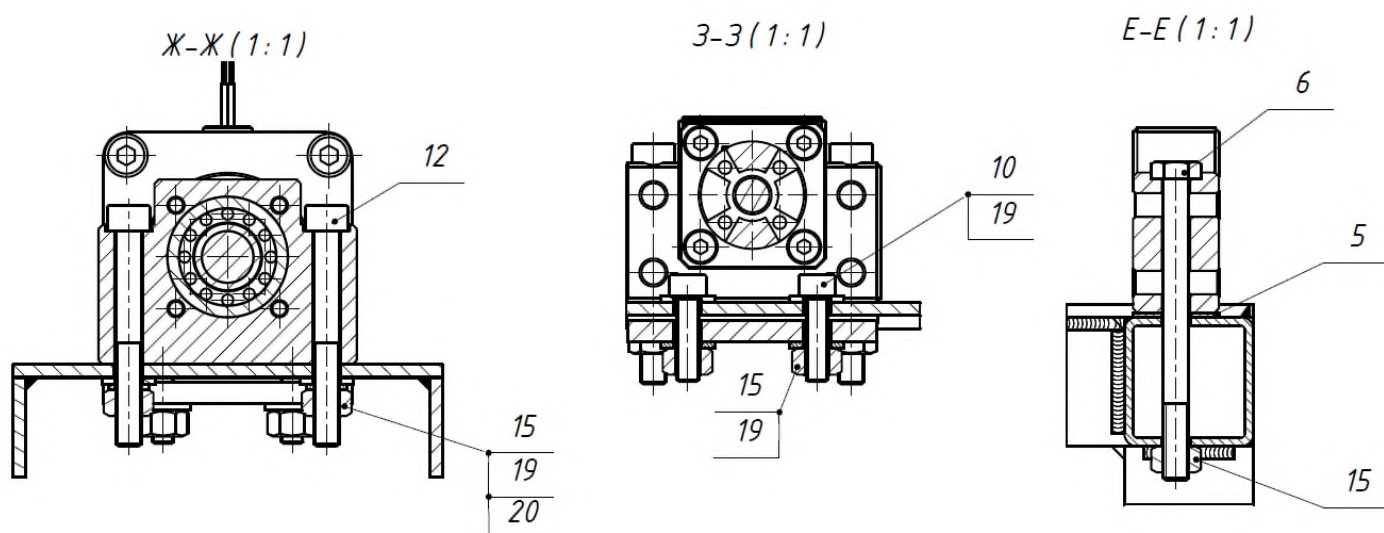


Рис.3.1 Загальний вигляд верстату для гібридної обробки струминно-лазерним методом (закінчення).

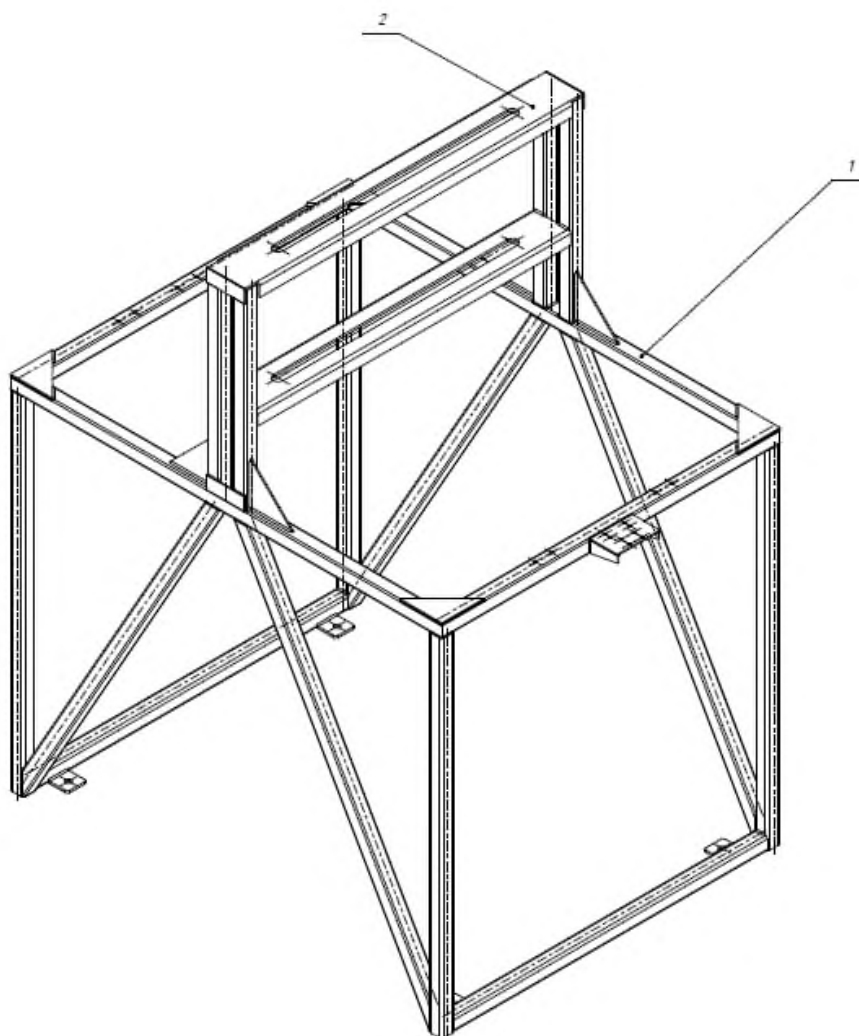


Рис.3.2. Ізометричне зображення станини.

3.3 Привод переміщення лазерної головки.

Конструкція приводу робочої головки представлена на рис.3.3.

Каркас приводу переміщення робочої головки являє собою конструкцію із двох опорних пластин 6 які з'єднані між собою за допомогою двох направляючих валів 18 з фланцевими опорами (SHF8) 19, які кріпляться до пластин 6 гвинтами 11 (розріз В-В на рис.3.3). На напрямних валах встановлені корпуси лінійних підшипників (SCS8UU) 20, які гвинтами 9 кріпляться до несучої пластини 7 (розріз В-В на рис.3.3).

Переміщення несучої пластини 7 здійснюється за допомогою повороту ручки 3 маховика 2, який закріплений на ходовому гвинту 17. Ходовий гвинт 17 перебуває в зачепленні з гайкою 4 (розріз А-А на рис.3.3), яка гвинтами 12 фіксується на несучій пластині 7 (розріз Б-Б на рис.3.3). Гвинт 17 встановлено на упорних підшипниках (F8-16M) 15 в проточках пластин 6. Натяг в підшипниках 15 створюється за допомогою шліфування торців втулки 5 та гайки 16, яка фіксується гвинтами 10 на ходовому гвинті 7.

Конструкція гайки 4 передбачає регулювання люфтів в зачепленні гвинт-гайка за допомогою гвинта 9.

Робоча головка 1 встановлена на кронштейні 8 (розріз А-А на рис.3.3)який за допомогою гвинтів 13 також зафіксований на несучій пластині 7 (розріз Е-Е на рис.3.3).

3.4 Привод переміщення робочого столу.

Конструкція приводу переміщення робочого столу наведена на рис. 3.4.

Привод переміщення робочого столу складається з робочого стола 1 в кутах рами якого болтами 3 закріплено корпуси лінійних підшипників (CSC16UU) 14 з напрямними валами 13 та їх опорами 15 (розріз Б-Б на рис. 3.4). В центрі рамки робочого столу 1 болтами 3 закріплена закріплений корпус гайки ШВП (BSH 16) 10 до якого гвинтами 4 фіксується гайка (SFU1605) 9 (розріз Д-Д на рис. 3.4). Гайка 4

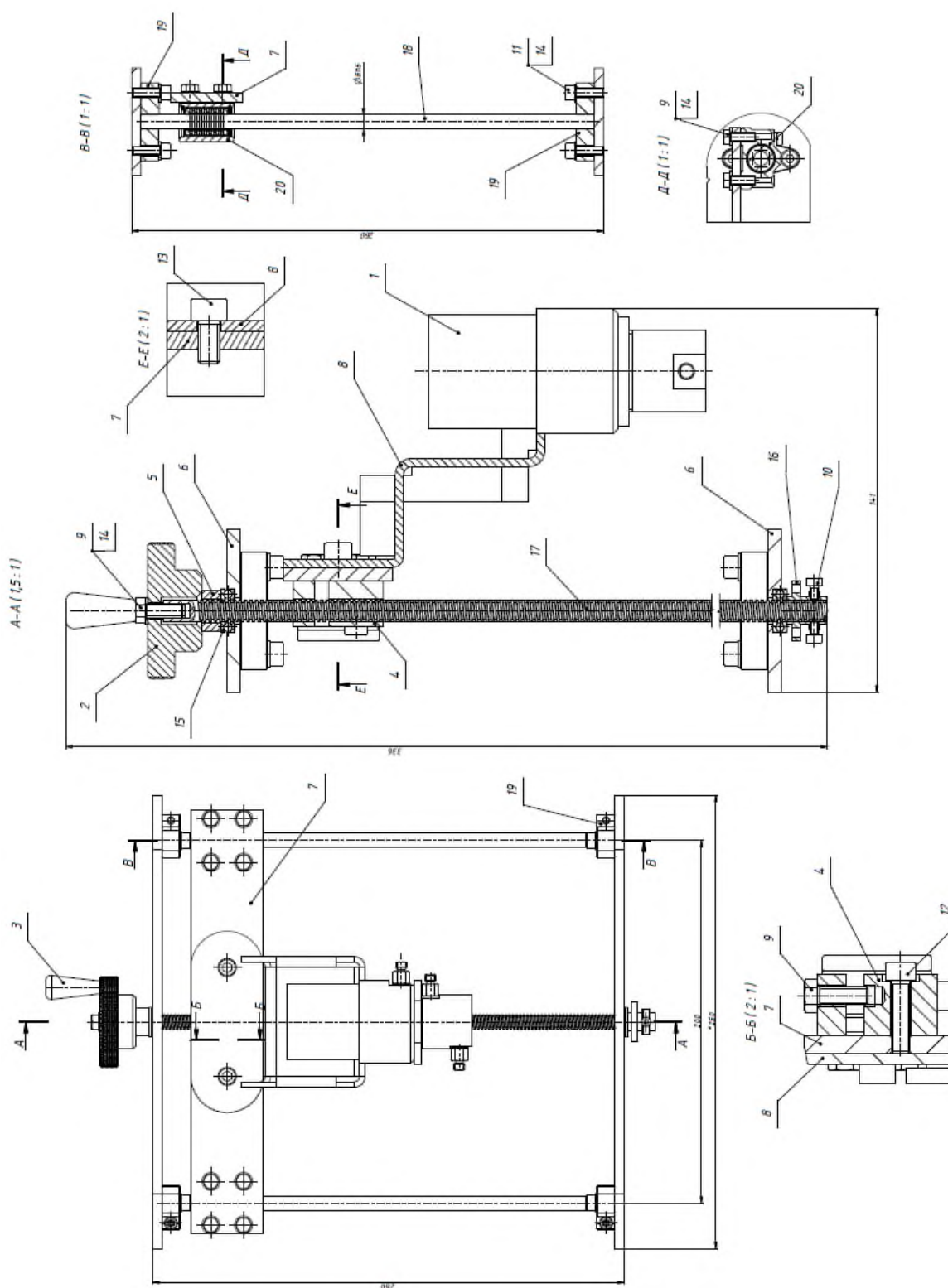


Рис.3.3. Привод переміщення робочої головки.

перебуває в зачепленні з гвинтом 8, який встановлено на передній (ВК12) 11 та задній (ВР12) 12 опорах (розріз А-А на рис. 3.4).

Переміщення робочого столу відбувається за рахунок двигуна NEMA 23HS230 17 (біполярний кроковий двигун з кроком $1,8^\circ$ та утримуючим моментом 22 кг/см з максимальною частотою обертання до 1000 хв^{-1}) вихідний вал ротора якого з'єднаний з кінцем гвинта 8 через кулачкову муфту (BF 25) 16.

3.5 Експериментальна робоча головка.

Конструкція робочої головки представлена на рис.3.5.

Пристрій складається з кронштейна кріплення 1 в якому співвісно кріпиться конічна вставка 2, яка з внутрішнім насадком 4 утворює кільцевий протоковий отвір. Зовнішній насадок 3 кріпиться до кронштейна 1 та з внутрішнім насадком 4 утворює кільцевий протоковий отвір для забезпечення додаткового потоку рідини, який має стримувати вихід лазерного променя за межі обробки, при умові що йде нестабільне різання і відбувається вихід лазерного променя із основного потоку.

Співвісно і опозитно до конічної вставки встановлено стакан 6 для з'єднання з оптичною системою лазера.

При обробці рідина під високим тиском (50-80 МПа) подається через штуцер 7 до порожнини камери між деталями 2 та 3 і оминаючи конічну вставку прямує до сопла за межами якого відбувається формування швидкоплинного рідинного потоку. Лазерний промінь, фокусується оптичною системою лазера у зоні струминного сопла проходить крізь повітряний простір в конічній ставці 2 та прямує вздовж швидкоплинного рідинного потоку до оброблюваної поверхні, локально її руйнуючи.

3.6 Моделювання динаміки робочого столу за допомогою Autodesk Inventor.

Методика моделювання за допомогою даного модулю в Autodesk Inventor наведена в джерелах [57,58]. Оскільки до складу верстату входить багато різних компонентів та з'єднань, які ускладнюють модель та збільшують час розрахунку динамічного моделювання буде доцільно провести розрахунок динаміки вузла переміщення робочого столу, оскільки даний вузол має найбільше прискорення та здійснює переміщення мас. Тому, за допомогою рекомендацій та прикладів розрахунку які приведені в вище зазначених джерелах виконаємо динамічне моделювання робочого столу (рис. 3.6).

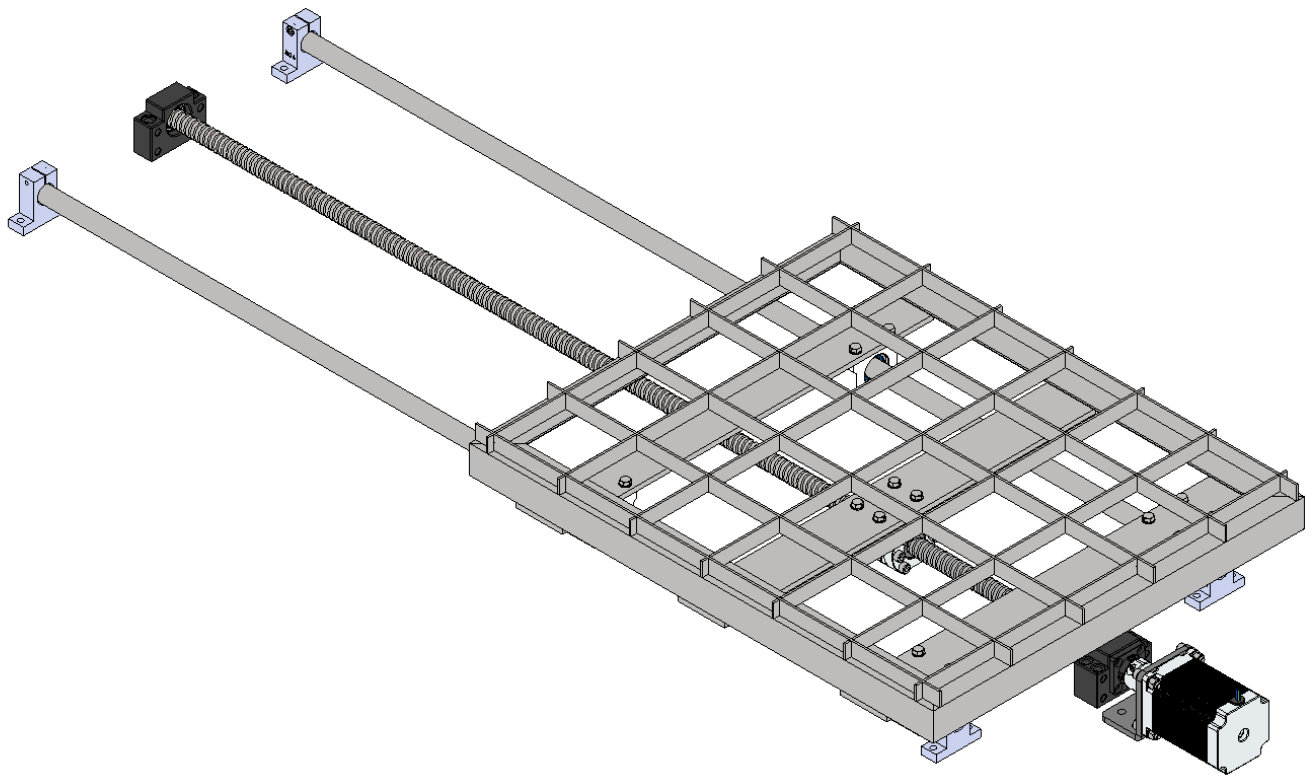


Рис. 3.6. Загальний вигляд приводу переміщення робочого столу.

В середовищі динамічного моделювання редагуємо з'єднання елементів за рекомендаціями з джерел [57,58]. Зокрема опори та кронштейн кріплення двигуна переносимо у групу деталей «Фіксовані», в «Рухомих групах» залишаємо лише деталі стіл та гвинт (рис. 3.7).

Створюємо необхідні стандартні з'єднання між елементами:

- «Вращение: 1» між опорами гвинта та самим гвинтом(рис.3.8 а);

- «Цилиндрический: 8» між напрямними та лінійними підшипниками (рис.3.8 б);
- «Винт:5» для відтворення руху гвинт-гайка використовуємо з'єднання з вказанням кроку передачі $t = 5$ мм (рис.3.8 в);
- « Скольжение: цилиндр в цилиндре: 2» Оскільки при задання на дві опори з'єднання «Циліндричність» перевизначає ступінь рухомості механізму, тому для відтворення руху і відновлення ступеня рухомості механізму одне з'єднання було перепризначене на дане (рис. 3.8 г).

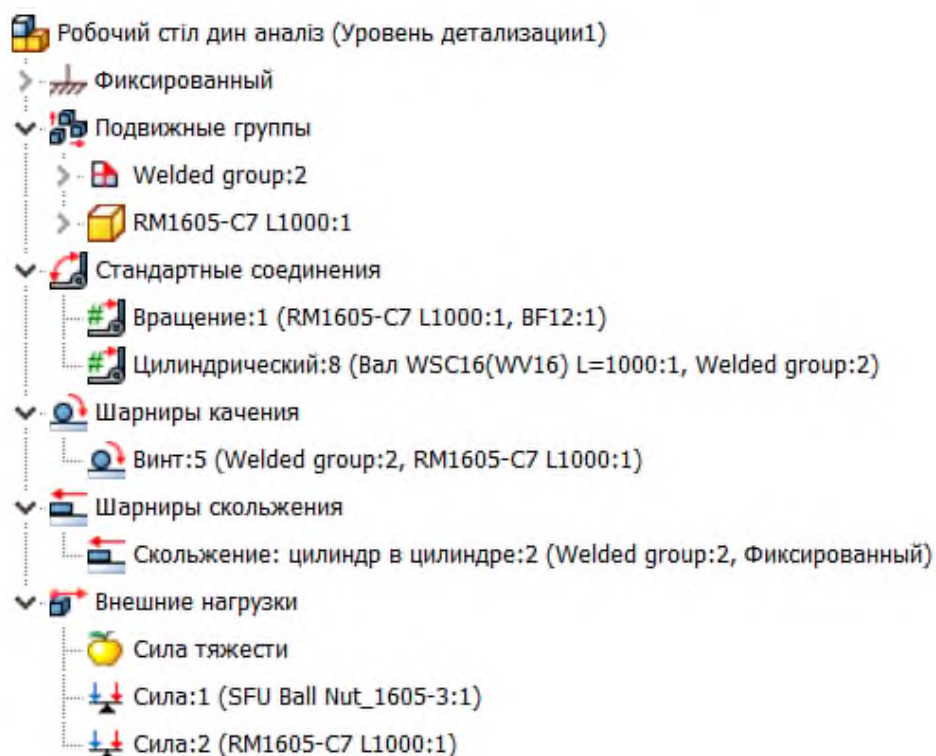


Рис.3.7 Браузер середовища динамічного моделювання після створення з'єднань, завдання сили тяжіння та навантаження.

Задання параметрів вимушеного руху виконаємо за кроками описаними у джерелі [58] (п.5.2.3). Виділяємо " Вращение:1" і задаємо прискорення $a = 2 \text{ м/с}^2$ та максимальне значення обертання двигуна:

$$n_{\text{дв}} = n \times 360/60 = 1000 \times 360/60 = 6000 \text{ град/с} \quad (3.1)$$

Запускаємо симулятор та визначаємо час циклу переміщення столу по гвинту $t=6,8$ с. Проводимо кроки описані в джерелі [58] (п.5.2.3) для задання початкових положень.

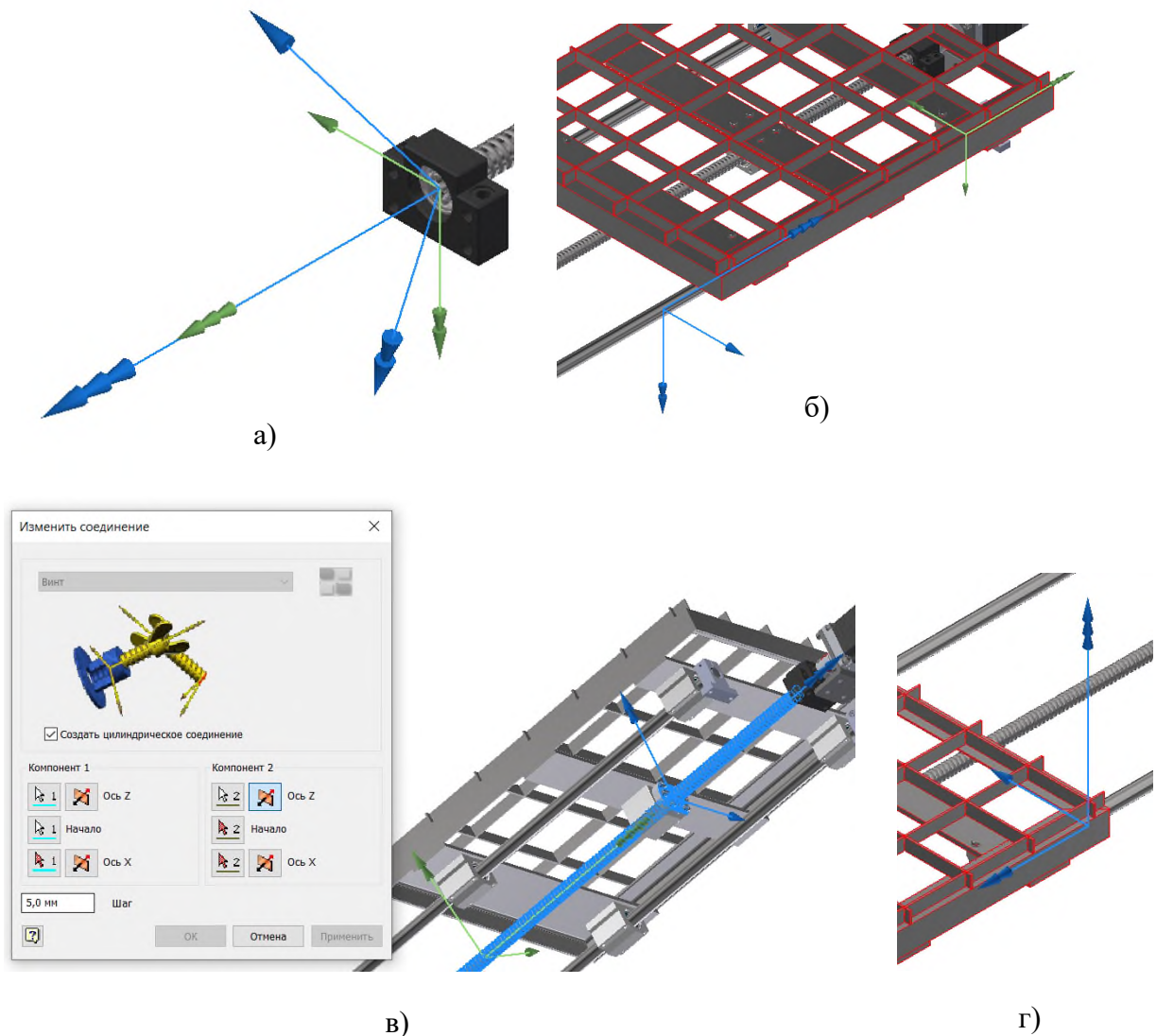


Рис. 3.8. Створення з'єднань між деталями: а) "Вращение:1"; б) "Цилиндрический:8"; в) "Винт:5"; г) "Скольжение: цилиндр в цилиндре: 2".

Задаємо навантаження. На рис. 3.7 можна побачити параметри «Зовнішні навантаження», де задано наступні сили:

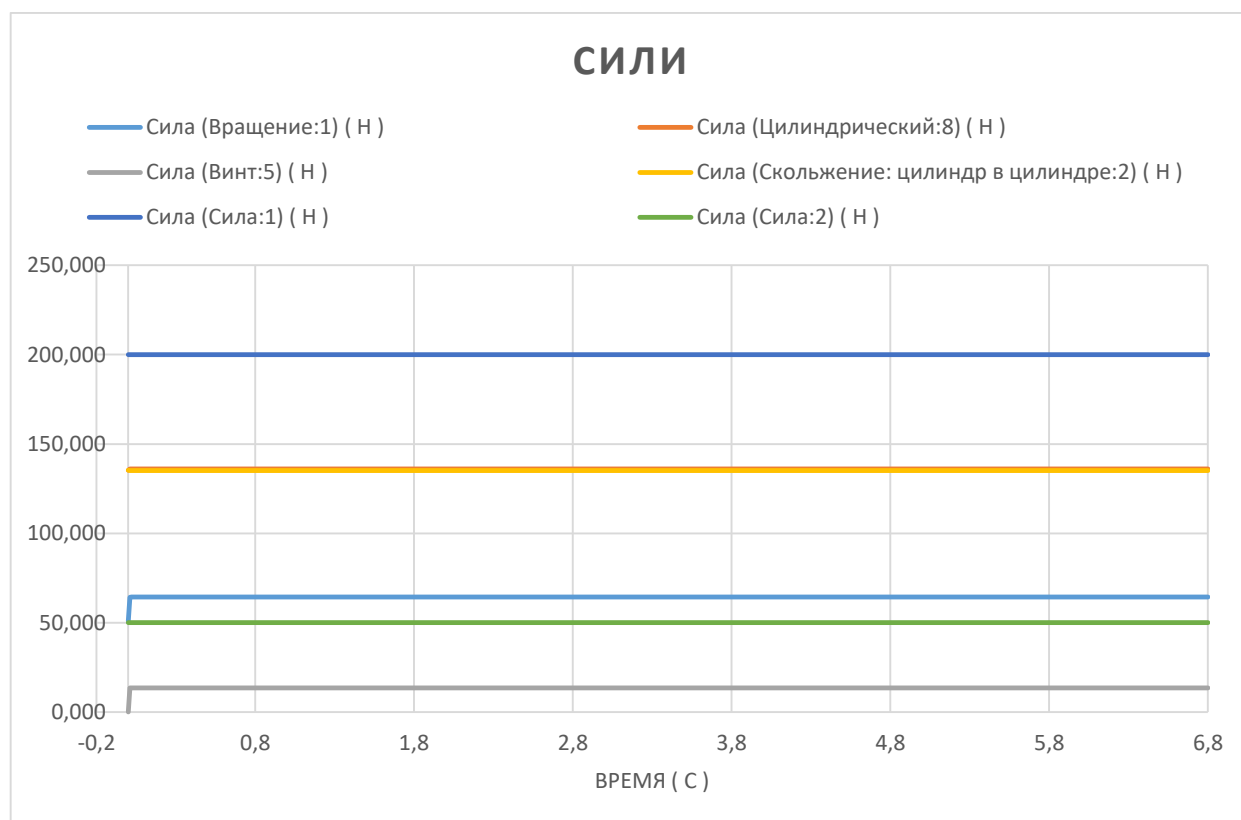
- «Сила тяжіння» – сила тяжіння прикладена до моделі:
- «Сила: 1» – робочі навантаження на стіл ($F \approx 200$ Н):
- «Сила: 2» – навантаження опору руху, яке виникає внаслідок похибок при складанні ($F \approx 0.5$ кН)

Призначимо властивості з'єднань за рекомендаціями наведеними в джерелах [57,58] (Табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Властивості з'єднань в механізмі.

З'єднання	Радіус, мм	Коефіцієнт тертя
Вращение: 4	6	0.03
Цилиндрический: 8	8	0.1
Винт:5	7,5	0.03
Скольжение: цилиндр в цилиндре: 2	8	0.2

Після виконання моделювання отримуємо графіки (рис. 3.9) діючих навантажень від сил та моментів. За даними графіками визначаємо найбільш навантажені вузли та деталі. Зокрема в даному випадку необхідно було б перевірити ходовий гвинт.



а)

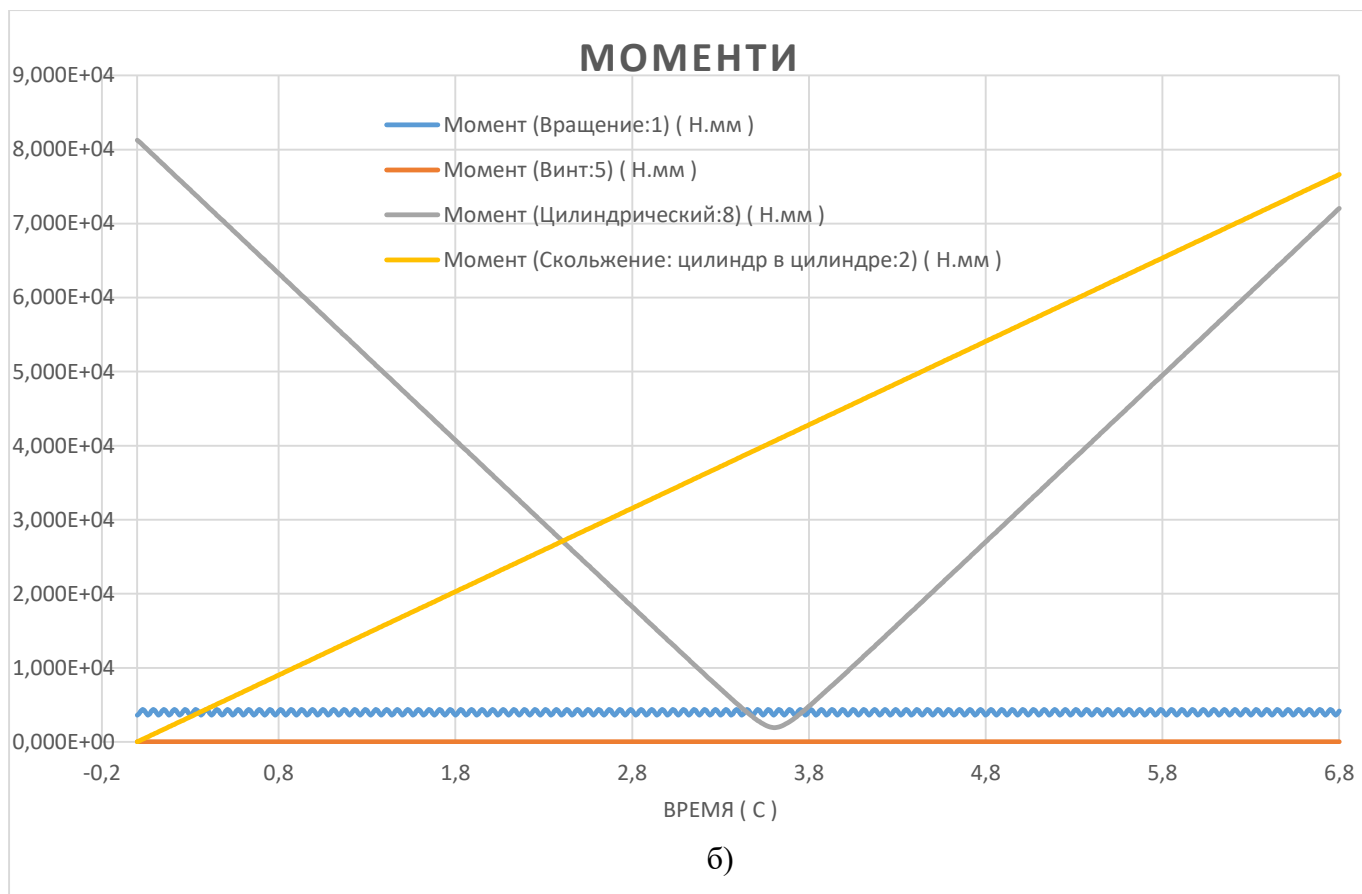


Рис. 3.9. Залежності навантажень у з'єднаннях від часу циклу: а) сили; б) моменти.

За допомогою вбудованих функцій перенесемо ходовий гвинт у середовище моделювання аналізу навантаження. Розрахункова схема гвинта представлена на рис. 3.10.

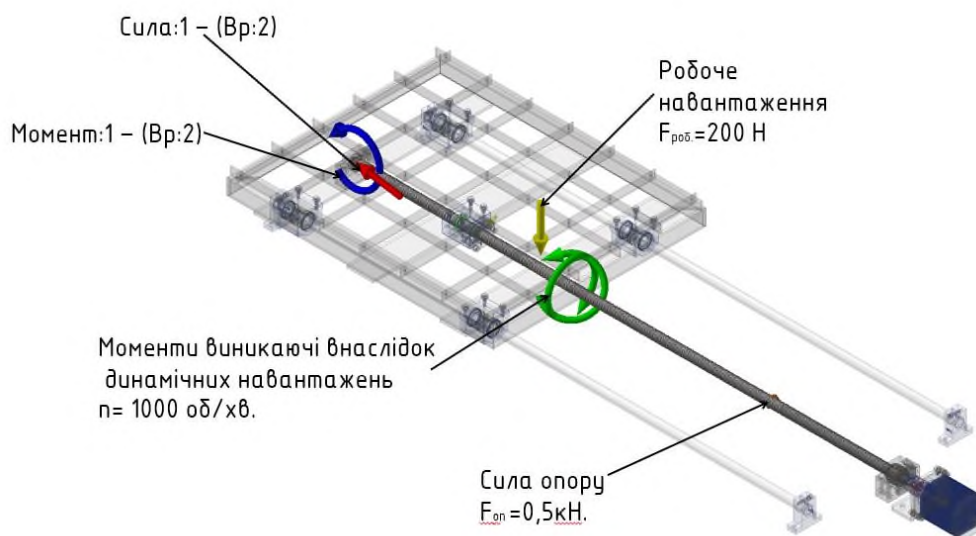


Рис.3.10. Схема навантажень на гвинт внаслідок динамічного моделювання.

Витримка з результатів моделювання наведена в таблиці 3.2. На рис.3.11 – 3.13. наведено розрахунки напружено-деформованого стану ходового гвинта.

Таблиця 3.2. Результати напружено-деформованого стану ротора.

Имя	Минимальная	Максимальная
Объем	170721 мм ³	
Масса	1,31967 кг	
Напряжение по Мизесу	0,000188998 МПа	7,4541 МПа
1-ое основное напряжение	-2,80658 МПа	8,80938 МПа
3-е основное напряжение	-7,60322 МПа	2,09668 МПа
Смещение	0,0000070207 мм	0,0961694 мм
Коэфф. запаса прочности	15 бр	15 бр
Напряжение XX	-7,59815 МПа	8,50625 МПа
Напряжение XY	-2,63691 МПа	3,60991 МПа
Напряжение XZ	-1,88003 МПа	3,33008 МПа
Напряжение YY	-4,35403 МПа	3,83279 МПа
Напряжение YZ	-3,73479 МПа	3,77957 МПа
Напряжение ZZ	-6,45674 МПа	6,17383 МПа
Смещение по оси X	-0,00220947 мм	0,00245826 мм
Смещение по оси Y	-0,0961693 мм	0,000410513 мм
Смещение по оси Z	-0,00117379 мм	0,000996951 мм
Эквивалентная деформация	0,000000000836993 бр	0,0000316992 бр
1-ая основная деформация	-0,0000000545132 бр	0,0000368696 бр
3-я основная деформация	-0,000034761 бр	0,00000000297949 бр
Деформация XX	-0,0000327532 бр	0,0000345162 бр
Деформация XY	-0,0000167219 бр	0,0000228921 бр
Деформация XZ	-0,0000119221 бр	0,0000211176 бр
Деформация YY	-0,0000130018 бр	0,0000130639 бр
Деформация YZ	-0,000023684 бр	0,000023968 бр
Деформация ZZ	-0,0000258691 бр	0,0000257533 бр

Тип: Напряжение по Мизесу
 Единица: МПа
 07.05.2020, 15:10:11
 7,454 Макс

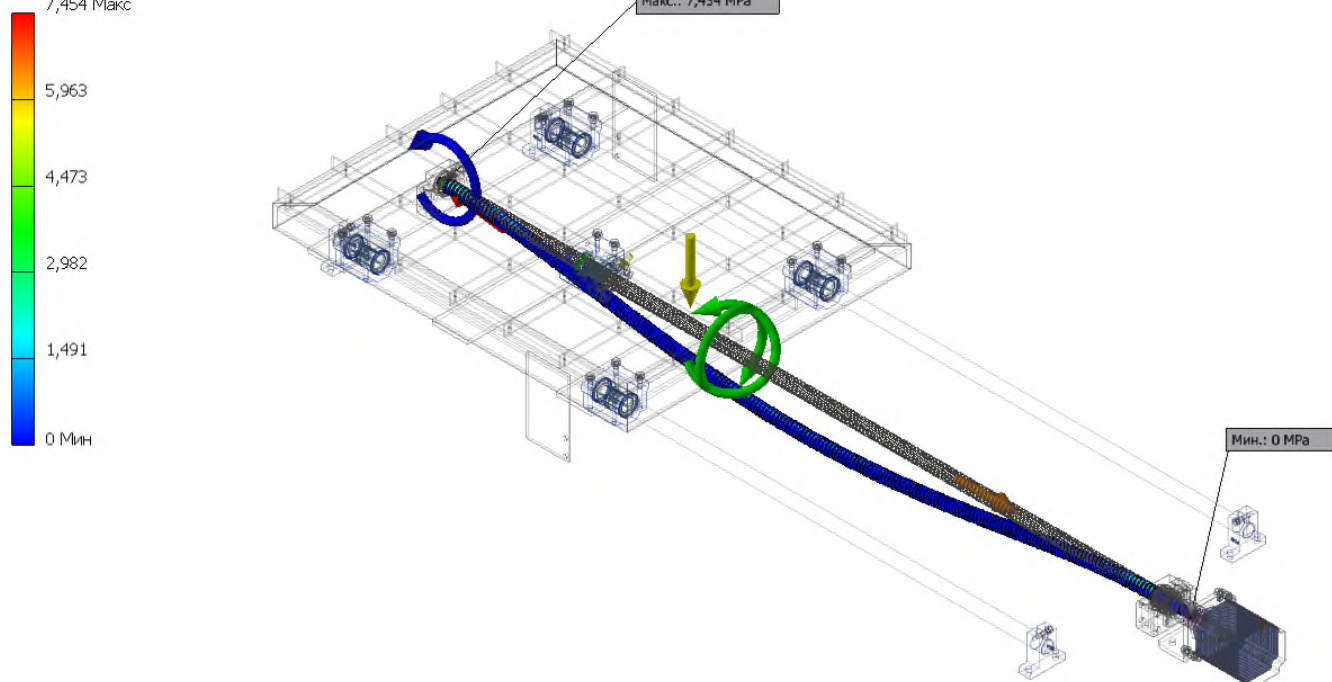


Рис.3.11. Напруження за Мізесом.

Тип: Смещение
 Единица: mm
 07.05.2020, 15:11:27
 0,09617 Макс

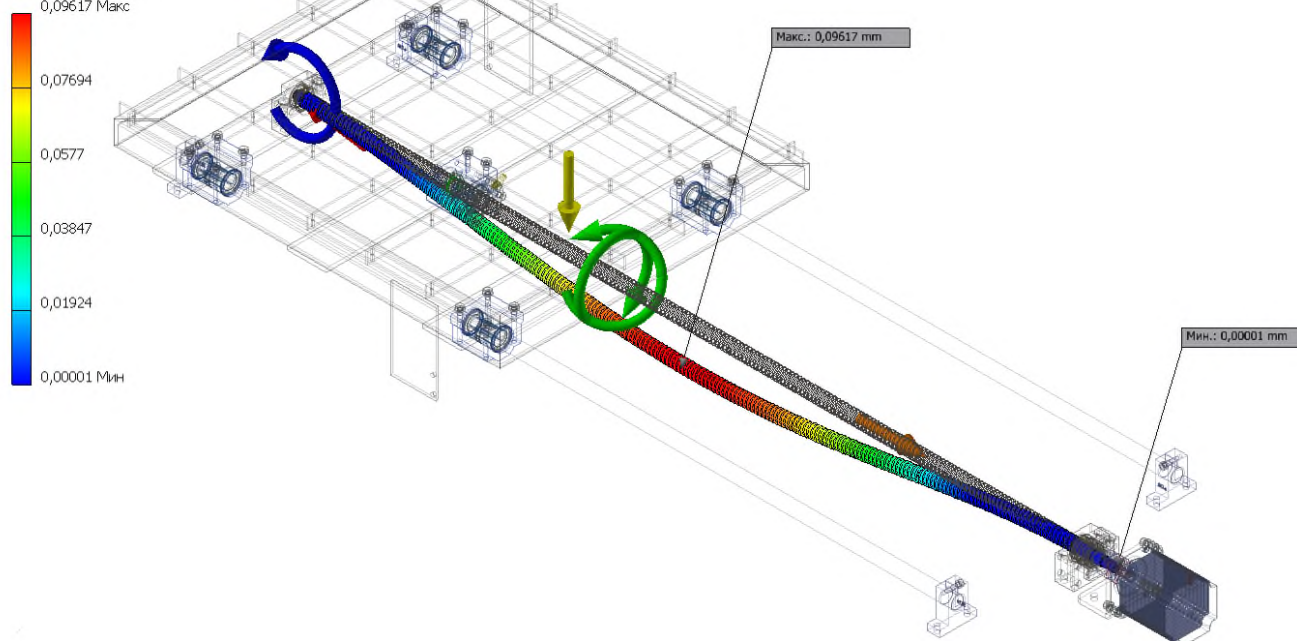


Рис.3.12. Зміщення.

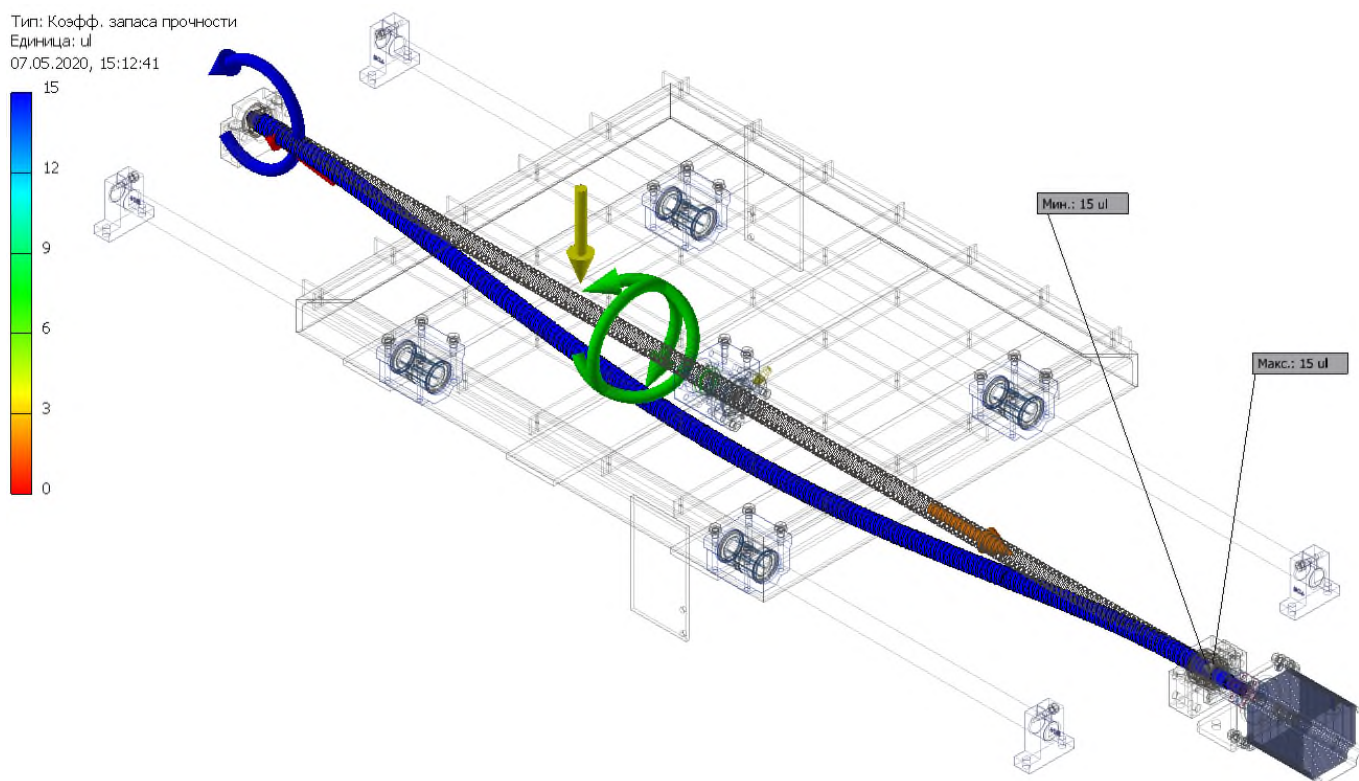


Рис.3.13. Коефіцієнт запасу міцності.

Міцність гвинта забезпечена. Коефіцієнт запасу міцності складає 15 (рис.3.13). Максимальний прогин в середині гвинта становить 0,009мм, що є допустимим та буде компенсовано натягом створеним при установці (в розрахунку дані навантаження не враховані).

За допомогою визначених динамічних навантажень проведемо дослідження напружено-деформованого стану робочого столу за рекомендаціями джерела [59].

На рис. 3.14 наведена розрахункова схема робочого столу для напружено-деформованого стану. Оскільки більшість деталей є покупними серійними виробами, матеріали деталей вибрані за рекомендованими нормативними документами відповідно до їх призначення та умов експлуатації.

Створені контакти та фіксації виконані за джерелами допомоги Autodesk Inventor та методичних вказівок [59]. Розрахунки основних результатів моделювання приведені в таблиці 3.3.

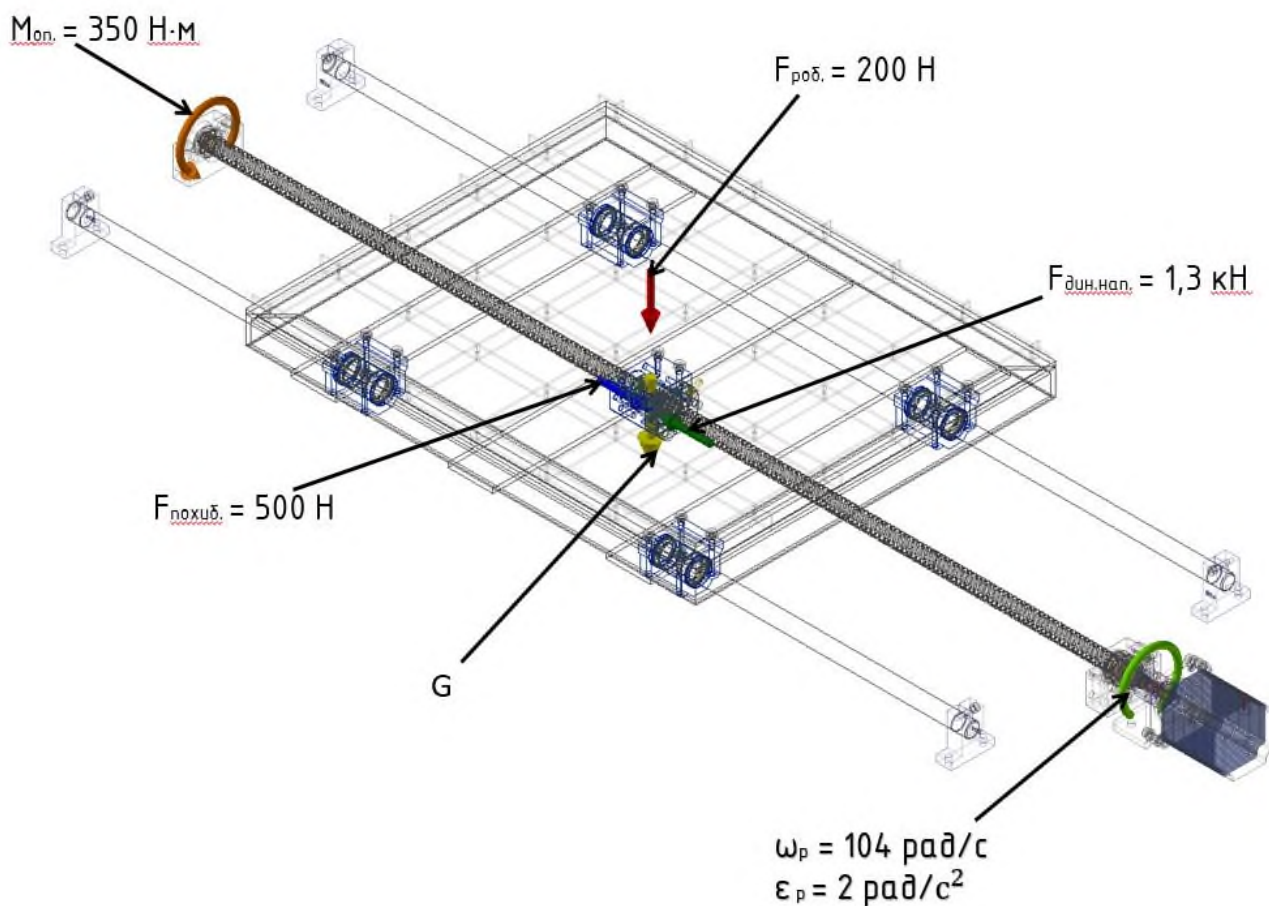


Рис. 3.14. Навантаження робочого столу.

ω_p – кутова швидкість головного руху;

ϵ_p – кутове прискорення головного руху;

G – сила тяжіння;

$F_{роб.}$ – зусилля від робочих навантажень;

$F_{похиб.}$ – зусилля від похибок складання;

$F_{дин.нап.}$ – зусилля від динамічних навантажень;

$M_{оп.}$ – момент опору від динамічних навантажень.

Таблиця 3.3. Результати розрахунків.

Имя	Минимальная	Максимальная
Объем	2465830 мм ³	
Масса	18,4035 кг	
Напряжение по Мизесу	0,0021204 МПа	40,3127 МПа

1-ое основное напряжение	-9,69889 МПа	22,8013 МПа
3-е основное напряжение	-28,2115 МПа	8,31635 МПа
Смещение	0,000000678349 мм	0,154627 мм
Коэфф. запаса прочности	9,53199 бр	15 бр
Напряжение XX	-14,0757 МПа	13,9903 МПа
Напряжение XY	-17,8513 МПа	15,6415 МПа
Напряжение XZ	-10,1351 МПа	7,87478 МПа
Напряжение YY	-26,564 МПа	16,1055 МПа
Напряжение YZ	-13,883 МПа	14,1553 МПа
Напряжение ZZ	-18,2283 МПа	14,9982 МПа
Смещение по оси X	-0,011561 мм	0,0137293 мм
Смещение по оси Y	-0,015462 мм	0,00310082 мм
Смещение по оси Z	-0,00892903 мм	0,00934977 мм
Эквивалентная деформация	0,00000000905182 бр	0,000172836 бр
1-ая основная деформация	-0,00000209428 бр	0,000144683 бр
3-я основная деформация	-0,000158126 бр	0,00000134608 бр
Деформация XX	-0,0000676422 бр	0,0000694686 бр
Деформация XY	-0,000114697 бр	0,000100498 бр
Деформация XZ	-0,000065119 бр	0,0000505964 бр
Деформация YY	-0,0000920778 бр	0,000102571 бр
Деформация YZ	-0,0000891997 бр	0,0000909497 бр
Деформация ZZ	-0,000110825 бр	0,0000860782 бр
Контактное давление	0 МПа	80,5249 МПа
Контактное давление по оси X	-19,664 МПа	11,6707 МПа
Контактное давление по оси Y	-79,4419 МПа	66,1822 МПа
Контактное давление по оси Z	-16,7508 МПа	17,6006 МПа

За результатами розрахунку та наведеними графічними зображеннями на рис. 3.15-3.17 можна зробити наступні висновки:

- максимальне зміщення конструкції під дією робочих навантажень становить 0,01536мм, що є цілком задовільним.
- міцність даної конструкції цілком забезпечена, мінімальний коефіцієнт запасу міцності $k_{\text{зап}} = 9,53$, що цілком забезпечує умову міцності.

Тип: Напряження по Мізесу
 Единиця: МПа
 09.05.2020, 15:37:29
 40,31 Макс

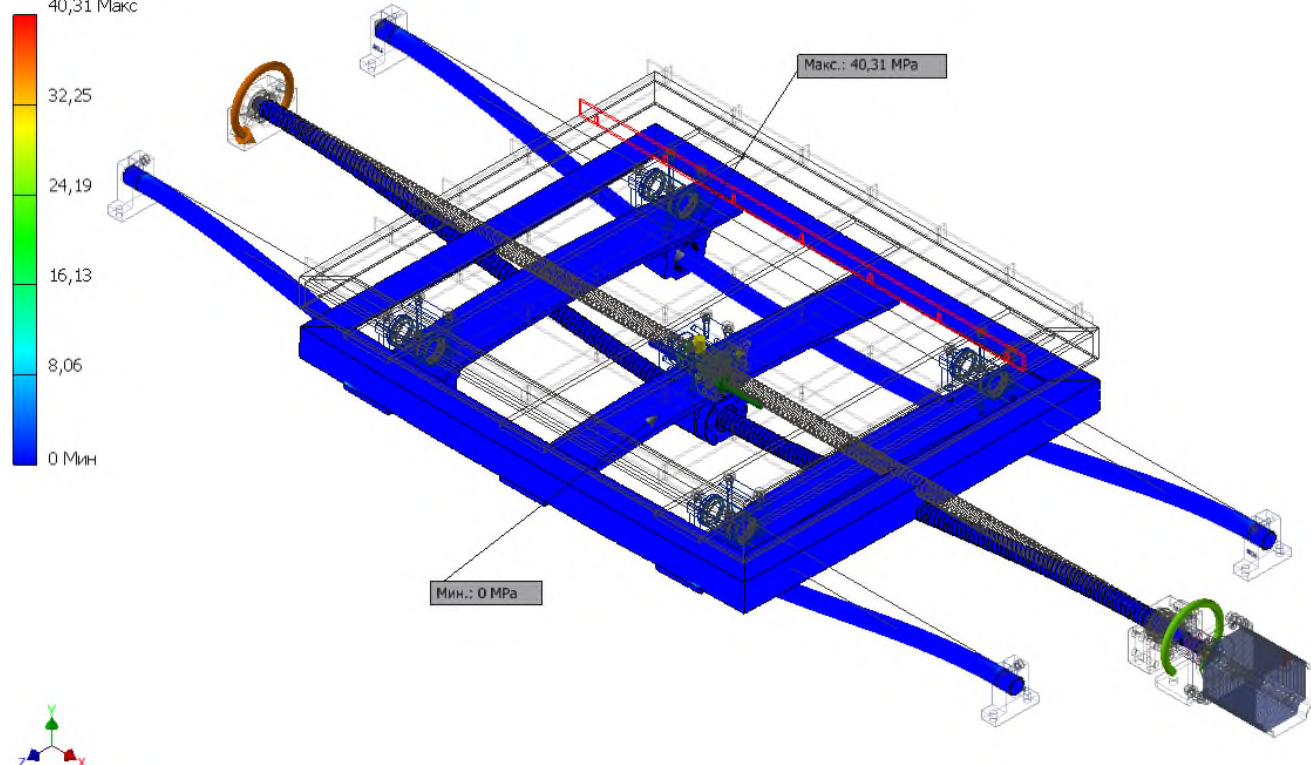


Рис. 3.15. Напруження по Мізесу.

Тип: Коэфф. запасу прочності
 Единиця: ul
 09.05.2020, 15:40:35
 15 Макс

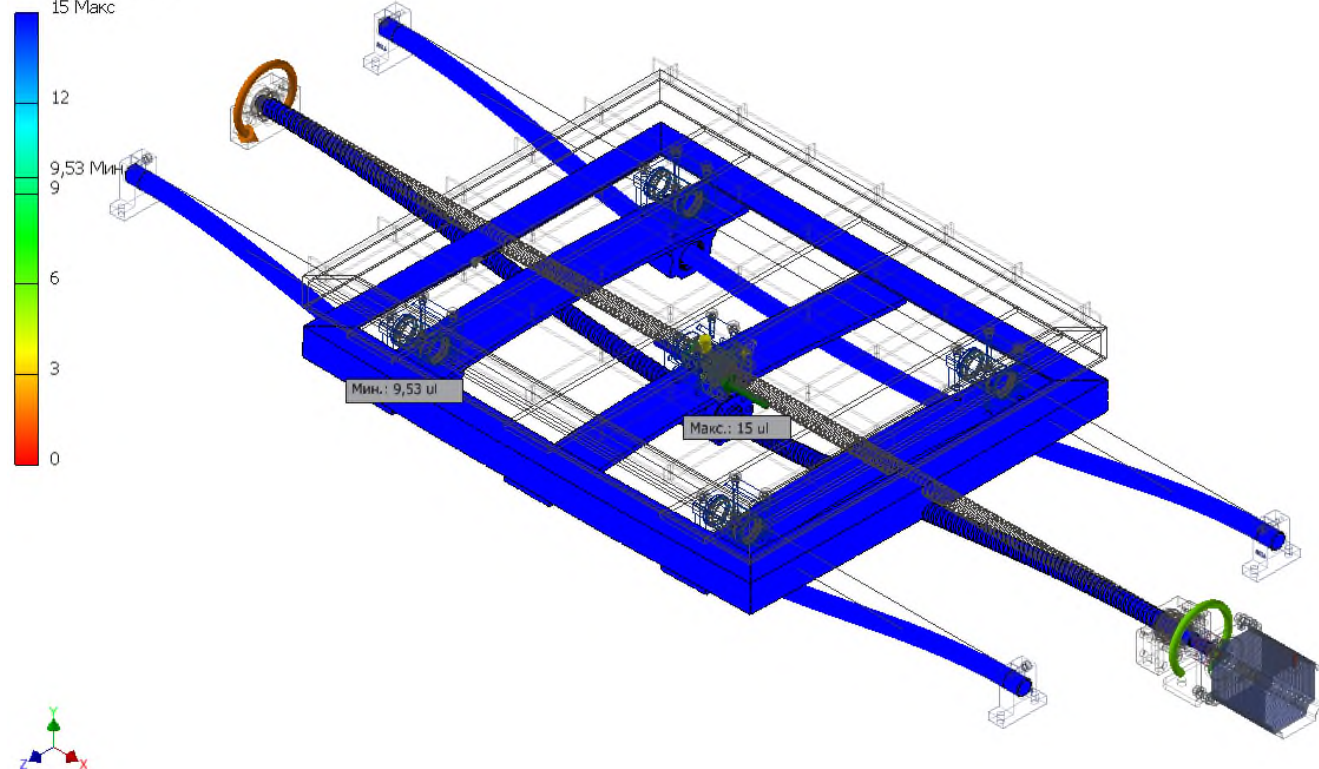


Рис. 3.16. Коефіцієнт запасу міцності.

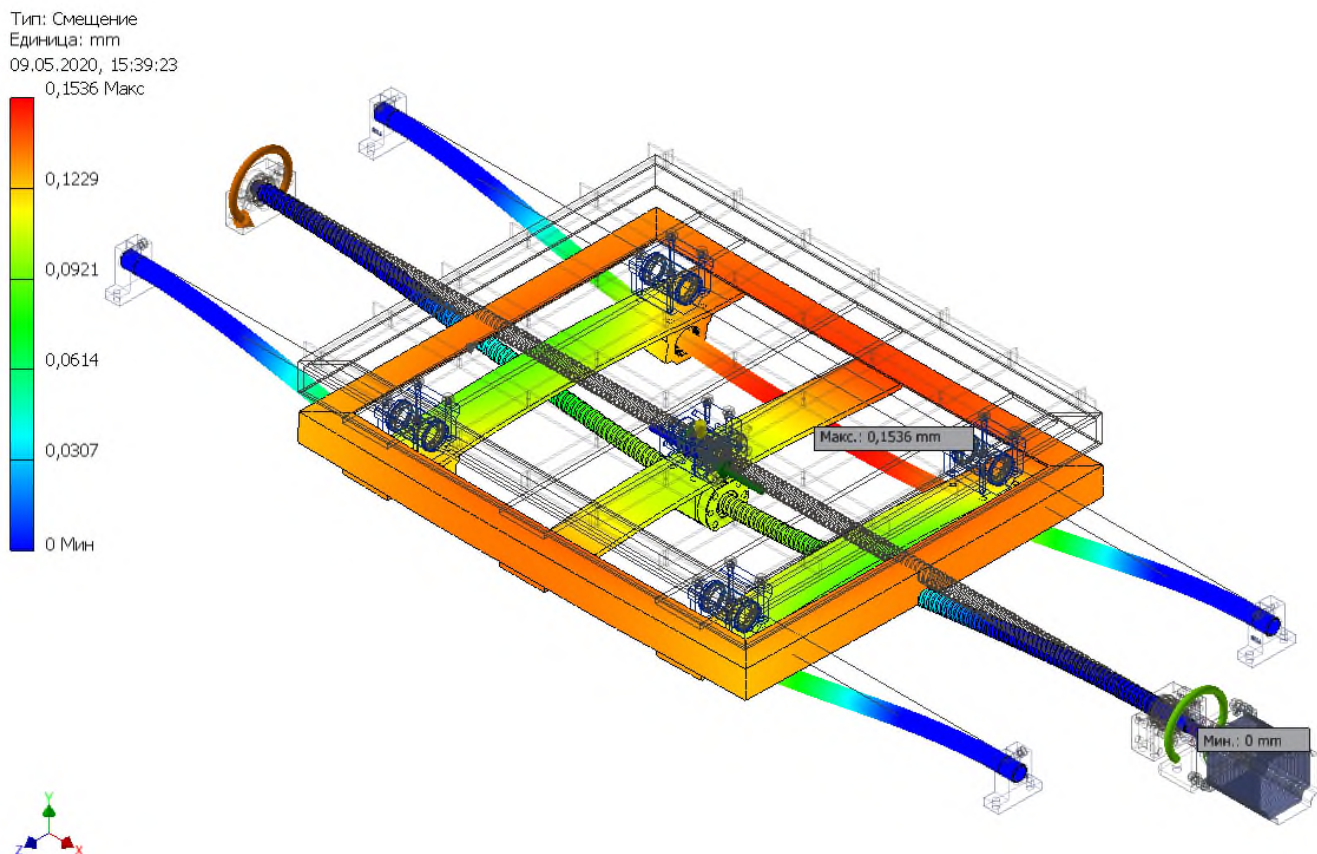


Рис. 3.17. Зміщення.

3.7. Розрахунок температурних полів при дії лазерно-струминного потоку.

На рис.3.18 наведена схема впливу струминно-лазерного потоку на площину та показано профіль плями руйнування матеріалу.

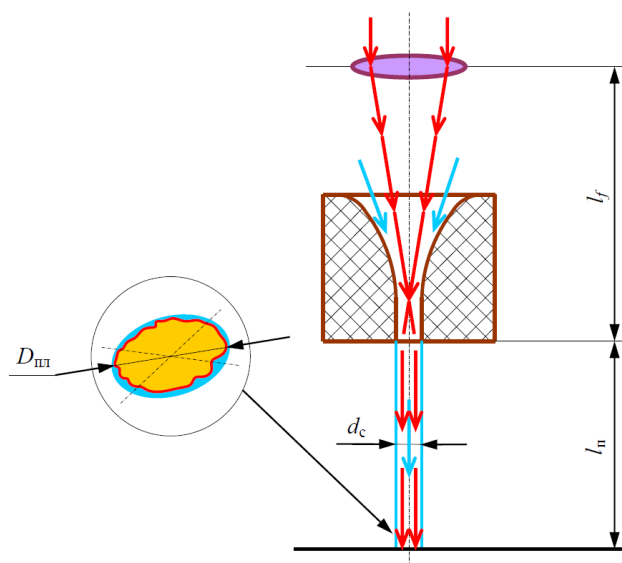


Рис. 3.18. Схема впливу струминно-лазерного потоку на оброблювану площину.

При підведенні лазерного променя до певної ділянки поверхні відбувається її нагрівання, причому поширення теплоти йде в глиб оброблюваної поверхні. Рівномірне розподілення на оброблюваній поверхні випромінення з потужністю W за час δt передасть поверхні енергію $Q\delta t$. В результаті цього впливу утвориться вирва з обсягом випареного матеріалу $4\rho abw$. За законом збереження енергії можна записати наступний вираз [15]:

$$Q\delta t = 4\rho abwu, \quad (3.2)$$

де ρ – щільність матеріалу; u – кількість тепла, яка необхідна для випаровування матеріалу.

Припускаючи, що $\delta t \rightarrow 0$, даний вираз можна перетворити, для визначення швидкості зростання вирви:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{Q}{4\rho abh} \quad (3.3)$$

З рівняння (3.3) маємо, що для будь якого матеріалу, зростання вирви пропорційна щільності енерговивільнення Q/A , де A – кількість тепла, яка виділяється в одиниці об'єму за одиницю часу. Інтегруючи дане рівняння при умові, що $s=0$ та $t=0$, знаходимо розмір борозенки в довільний момент часу:

$$l(t) = \frac{E(t)}{4\rho abh} \int_0^t Q dt \quad (3.4)$$

де $E(t)$ – повна енергія, яка вивільняє джерело за проміжок часу.

Дане рівняння (3.4) доводить, що залежність розміру вирви від повної енергії, яка надходить до площини.

В роботі [15] вирішувалась схожа задача переміщення тепла вглиб матеріалу яку можна описати задачею Стефана для температури всередині матеріалу $T(z,t)$ з граничними умовами по рухомій границі $z=l(t)$.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{D} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.5)$$

Де $D=K/(\rho c)$ – коефіцієнт теплопровідності, ρ, c, λ – густина, питома теплоємність та коефіцієнт теплопровідності відповідно.

За джерелом [15] розв'язок даного рівняння доводить нерівномірність заглиблення теплового фронту по координаті z .

Змодельюємо дане розсіювання теплового поля за допомогою Flowvision.

Задача дослідження – визначити напрям дії теплових полів при дії лазерно-струминного потоку.

За рекомендаціями джерел [60,61,62] при моделюванні вода задавалась як нестислива рідина, властивості було взято з бази речовин ПК FlowVision. Початкові та граничні умови було задано за рекомендаціями [60,61,62]:

- на вході в сопло задавалась гранична умова для статичної температури $T_0 = 293$ К та тиску 50 мПа.
- задання граничних умов показано на рис.3.19.

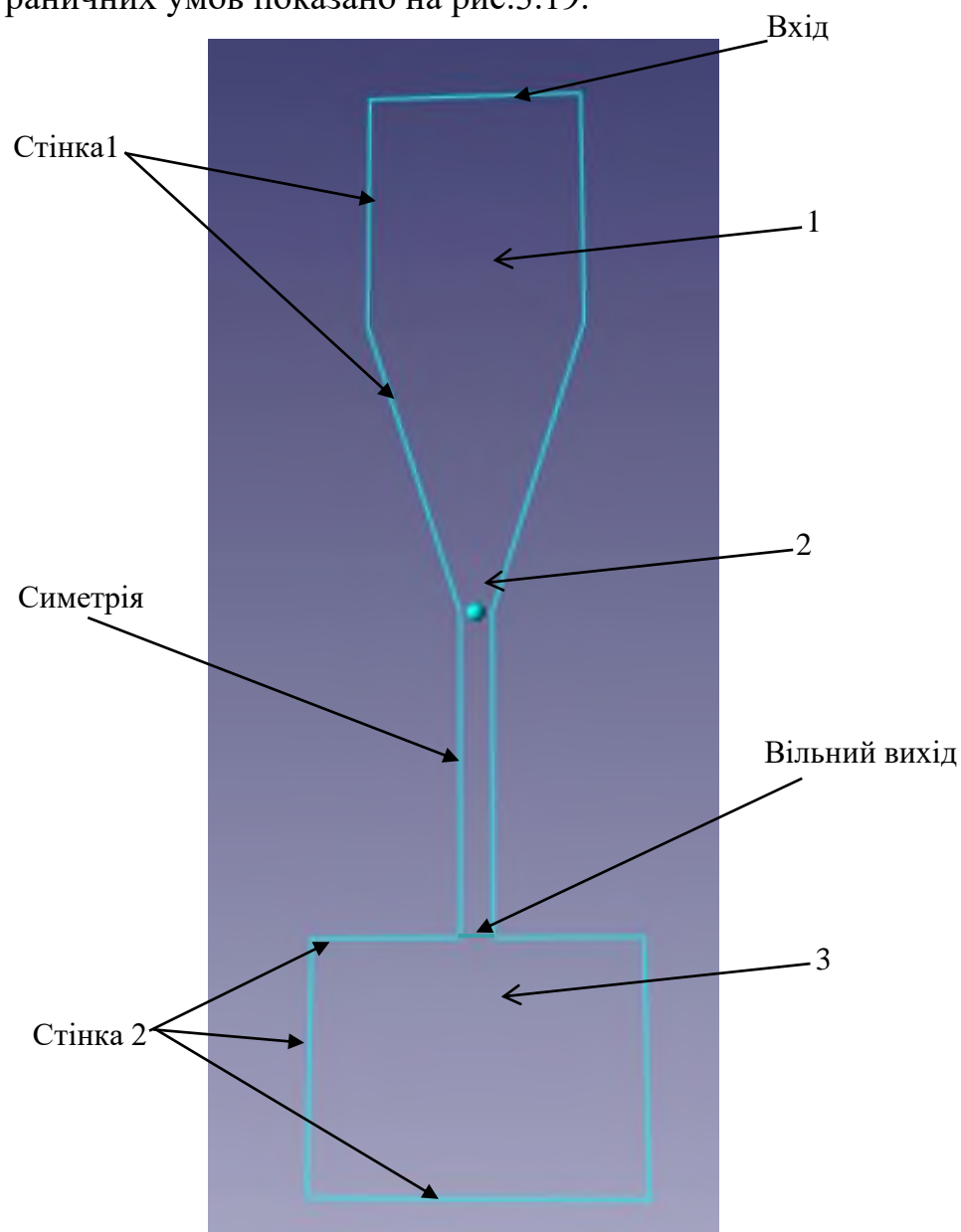


Рис.3.19 Граничні умови: 1 – течія в соплі; 2 – вільний потік; 3 – оброблювана поверхня.

Параметри розрахункової сітки задавались з врахуванням рекомендацій джерел [60,61,62] та була уточнена в центрі дії струминно-лазерного потоку до 0,1мм.

Розрахунок проводивсь на версії ПК FlowVision 2.5.4

Крок за часом задавався за допомогою числа $CFL=100$.

Схема інтегрування: Неявна (2-й порядок точності).

Результати розрахунку поширення температурних полів та полів потоку тепла наведено на рис.3.20.

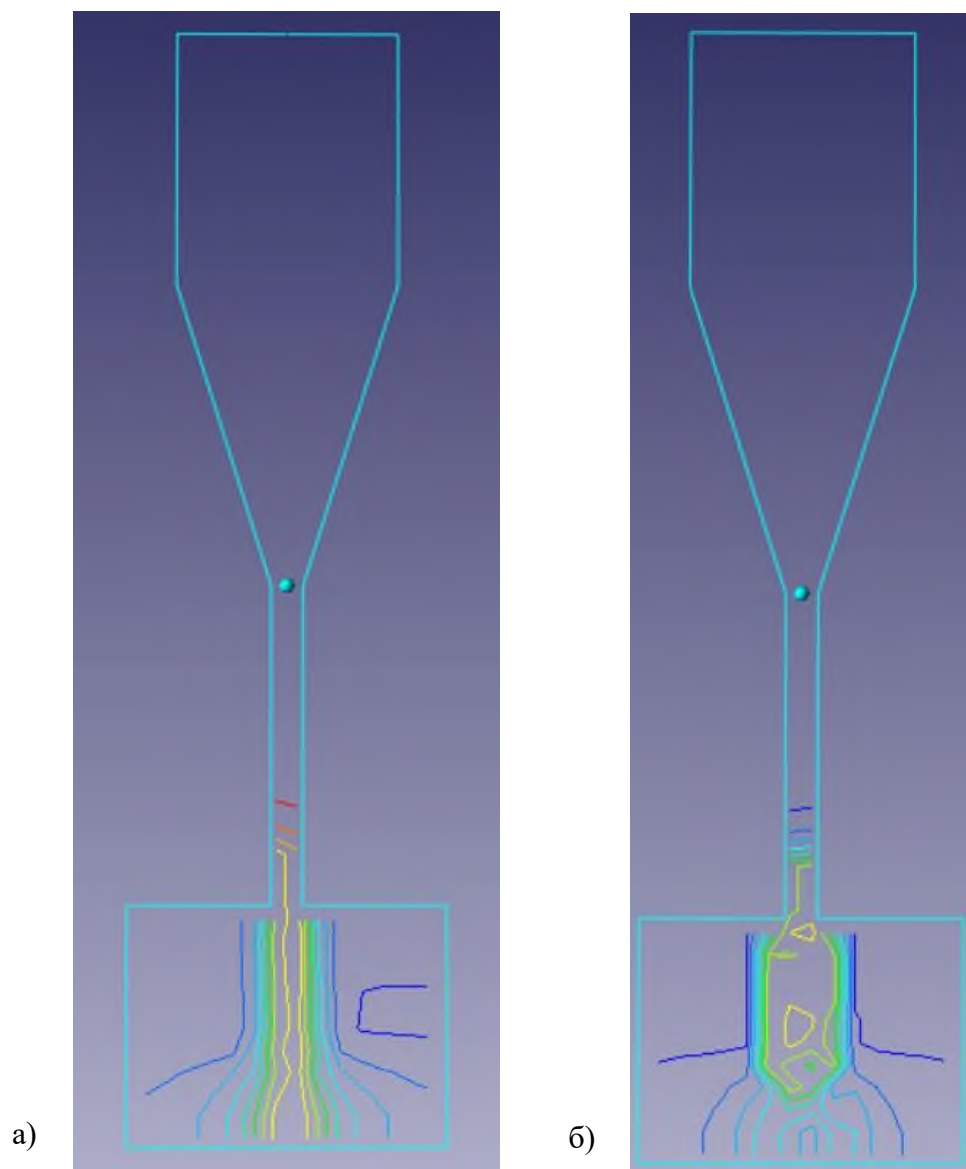


Рис.3.20. Розрахунки в середовищі FlowVision: а) Температура; б) Потік теплоти.

Як видно з результатів моделювання, поширення температурних полів в оброблюваному матеріалі більш зосереджене в зоні контакту струминно-лазерного потоку та мають більше розповсюдження в глиб заготовки, що повністю погоджується з теорією. Розподіл температур відбувається в діапазоні 120-3100 °С.

Висновки до розділу

1. Розроблено конструкцію та складальні кресленики верстата для гібридної обробки крайок композитного матеріалу.
2. Проведено динамічний аналіз приводу робочого столу та визначено сили які діють на робочий стіл внаслідок динамічних навантажень.
3. Проведено аналіз напружено-деформованого стану робочого стола та ходового гвинта.
4. Виконано моделювання розподілення теплових полів внаслідок дії струминно-лазерного потоку.

ВИСНОВКИ

1. В ході виконання магістерської дисертації було розроблено гібридний верстат струминно-лазерного впливу для обробки крайок композитних матеріалів.
2. В проекті наведений аналіз застосування композитних матеріалів та існуючих методів їх обробки та вибрано найкращий з умови якості утвореної поверхні.
3. Проаналізовані існуючі верстати для струминно-лазерної обробки та вибрано компоувальну схему верстату. Проведено розрахунки передач верстату та вибрано основні вузли.
4. Розроблено конструкцію верстату та виконано складальні кресленики. Проведено розрахунки напружено-деформованого стану найбільш навантажених вузлів.
5. Проведено моделювання розподілення теплових полів у оброблюваному матеріалі під дією струминно-лазерного потоку.

Літературні джерела:

1. Джурка Г.Ф., Полімерні композиційні матеріали - Полтава, 2008 – 58с.
2. Склеивание в машиностроении: В 2 т. / под ред. Г.В. Малышевой. – М.: Наука и технология, 2005.
3. Баженов, С.Л. Полимерные композиционные материалы / С.Л. Баженов, А.А. Берлин, А.А. Кульков, В.Г. Ошмян. – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 352 с.
4. Андреева, А.В. Основы физикохимии и технологии композитов: учеб. пособие / А.В. Андреева. – М.: ИПРЖР, 2001. – 192 с.
5. Баурова, Н.И. Диагностирование и ремонт машин с применением полимерных материалов: монография / Н.И. Баурова. – М.: ТехПолиграфЦентр, 2008. – 280 с.
6. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в опытном литейном производстве. Литье металлов и пластмасс с использованием синтез-моделей и синтез-форм / М.А. Зленко, П.В. Забеднов // Металлургия машиностроения. – 2013. – No3 . – С. 12 –18.
7. Каблов В.а, Е.Н. Перспективы использования углеродсодержащих наночастиц в связующих для полимерных композиционных материалов / Е.Н. Каблов, С.В. Кондрашов, Г.Ю. Юрков // Российские нанотехнологии. – 2013 . – Т.8, No3–4. – С.24–42.
8. http://olymp.asclub.rupublarkhiv_rabotdvenadcataja_olimpiada_2014_15_uch_godg_de_i_kak_vpervye_v_samoletostroenii_pojavilis_kompozicionnye_materialy_ikh_dostoinstva_i_nedostatki34-1-0-1396
9. Баурова Н.И. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин/ Н.И. Баурова, В.А. Зорин – М.:МАДИ – 2016. – 265с.
10. Зорин, В.А. Ремонт теплонагруженных элементов машин и оборудования с использованием наполненных полимерных материалов / В.А. Зорин, Н.И. Баурова // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2013 . – No 4. – С. 16–18.

11. Технология машиностроения, производство и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин / под ред. В.А. Зорина. – М.: Академия, 2010. – 568 с.
12. Зорин, В.А. Применение интеллектуальных материалов при производстве, диагностировании и ремонте машин: монография / В.А. Зорин, Н.И. Баурова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 110 с.
13. Малышева, Г.В. Прогнозирование ресурса клеевых соединений / Г.В. Малышева // Клеи. Герметики. Технологии. – 2013 . – No 8 . – С. 31 –34 .
14. Полимерные материалы: изделия, оборудование, технологии. – URL:<http://www.polymerbranch.com>.
15. Холодный В.Ю., ОТРИМАННЯ ОТВОРІВ ПЕРФОРАЦІЇ В СТІЛЬНИКОВИХ КОНСТРУКЦІЯХ ЗАСОБАМИ СТРУМИННО-ЛАЗЕРНОГО ВПЛИВУ. – Кременчуг, 2016 – 204с.
16. В.И. Сливинский, Г.В. Ткаченко, М.В. Сливинский. Эффективность применения сотовых конструкций в летательных аппаратах/ Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф.Решетнева – 2017. – С.169-173.
17. Иванов А.А. Новое поколение сотовых заполнителей для авиационно-космической техники / А.А. Иванов, С.М. Кашин, В.И. Семенов. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 436 с.
18. Опыт применения сотовых конструкций в изделиях «Ан» / А.М. Баранников, О.В. Мирошников, Г.В. Неминский и др. // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Х.: ХАИ. – 2007. – Вып. 2 (49). – С. 9–16.
19. Благоев В.А. Легкие судовые конструкции из пластмасс / В.А. Благоев, А.П. Калмычкова, В.Н. Кобелев, Б.Ф. Прохоров. – Л.: Судостроение, 1969. – 263 с.
20. Панин В. Ф. Конструкции с заполнителем: справочник / В. Ф. Панин, Ю. А. Гладков. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.

21. Опыт применения сотовых конструкций в изделиях «Ан» / А.М. Баранников, О.В. Мирошников, Г.В. Неминский и др. // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Х.: ХАИ. – 2007. – Вып. 2 (49). – С. 9–16.
22. Гайдачук А.В. Сотовые заполнители и панельные конструкции космического назначения: моногр. В 2 т. Т. 1. Технологические несовершенства сотовых заполнителей и конструкций / А.В. Гайдачук, О.А. Карпикова, А.В. Кондратьев, М.В. Сливинский. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т». – 2012. – 279 с.
23. В.Т.Минаков. Особенности изготовления трехслойных сотовых панелей с полимерным заполнителем горячего отверждения. – С. 6–9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-izgotovleniya-trehsloynnyh-sotovyyh-paneley-s-polimernym-zapolnitelem-goryachego-otverzhdeniya/viewer>
24. А.И. Грабченко, В.А.Залюга, Ю.Н.Внуков и др., Интегрированные процессы обработки материалов резанием. – Сумы: Университетская книга, 2017.- 451с.
25. A.F. Salenko, V.T. Shchetinin, A.N. Fedotyev, 2014, published in Sverkhтвердые Materialy, 2014, Vol. 36, No. 3, pp. 73–84., Journal of Superhard Materials, 2014, Vol. 36, No. 3, pp. 199–207.
26. Мана О.М. Вдосконалення процесу гідроабразивної обробки отворів у стільникових тонкостінних виробах із композиційних матеріалів: автореферат канд. техн. наук, спец.: 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти / Мана О.М. – Севастополь: МОН, молоді та спорту Укр. Севастопольський нац. техн. ун-т. – 2012. – 21 с.
27. Саленко О.Ф. Підвищення ефективності процесу лазерно-струминного перфорування листових заготовок профільним потоком / О.Ф. Саленко, В.Ю. Холодний, С.Н. Коваленко, Ю.О. Павлюченко // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідравліка і пневматика». – Вип. №3(49). – Вінниця: Вінницький національний аграрний університет, Асоціація спеціалістів промислової гідравліки і пневматики, 2015. – С. 44–53.

28. Salenko A.F. Removal of the defective layer and stresses hubs during microprocessing of of rolled thin sheet specimens of metal cellular panels / A.F. Salenko, V.Y. Kholodnyi, G.V. Gabuzian // Journal of the Technical University of Gabrovo. – Vol. 52. – Gabrovo: Университетско издателство Габрово, 2015. – P. 8–12.
29. Salenko A. Changing the spot of local destruction of samples at water jet guided laser processing with appropriate profiling jet / A. Salenko, V. Kholodnyi // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», серія “Машинобудування”. – Вип. №73. – Київ: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 57–64.
30. Холодный В.Ю. Повышение эффективности процесса струйно-лазерного перфорирования листовых заготовок профилированным потоком / В.Ю. Холодный, С.В. Коваленко, Ю.А. Павлюченко, Г.В. Габузян, А.Ф. Саленко // Вісник двигунобудування./ Вип. 1. – Запоріжжя: АТ «Мотор Січ». – 2015. – С. 106–113.
31. Саленко О.Ф. Основи струминно-лазерної обробки матеріалів: монографія / О.Ф. Саленко, В.Т. Щетинін, В.Г. Доценко, О.В. Фомовська. – Кременчук: Вид-во КрНУ ім. М. Остроградського. – 2012. – 362 с.
32. Саленко О.Ф. Про деякі результати досліджень струминно-лазерного впливу на поверхню твердих тіл / О.Ф. Саленко, О.В. Фомовська, В.О. Дудюк, О.М. Мана // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування: збірник наукових праць. – 2011. – № 61, т. 2. – С. 172–179.
33. Саленко О.Ф. Дослідження струминно-променевого впливу на поверхні твердих тіл / О.Ф. Саленко, А.В. Луговий, В.А. Дудюк, О.Ю. Безворітний // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського «Нові технології в машинобудуванні». – Вип. №6(49). – Кременчук: КДПУ імені Мийхала Остроградського, 2009. – С. 80–85.
34. Salenko A.F. Some results of exploration of water jet guided laser onto the solids' surface / A.F. Salenko, O.V. Fomovska, V.A. Dudyuk, O.M. Mana // Unitex: International scientific conference. – Gabrovo. – 2010. – P. 414–421.

35. Synova, S. A. Natural diamond cutting using water jet-guided laser [Electronic resource] / S.A. Synova. – Available at: http://www.synova.ch/fileadmin/user_upload/conferences/2011_LIM2011_Synova_final.pdf. – 12.05.2013. – Title from the screen.
36. Waterjet-guided Laser Processing // Bernold Richerzhagen, Muneharu Kutsuna, Haruhiko OKADA and Takeshi IKEDA //SYNOVA SA, Parc scientifique/EPFL Lausanne Switzerland // Department of Material Processing Engineering. – Nagoya University. – Japan
37. Richerzhagen B. The waterjet-guided laser in wafer cutting / B. Richerzhagen // SYNOVA S.A. – Parc Scientifique A 1015 Lausanne. – Switzerland.
38. High-Precision Screen Cutting with the Water-Jet Guided Laser / FPD China 2005 SEMI Technology Seminar. – ©SEMI. – 2005.
39. Richerzhagen B. The waterjet-guided laser in wafer cutting / B. Richerzhagen // SYNOVA S.A. – Parc Scientifique A 1015 Lausanne. – Switzerland.
40. <http://www.synova.ch>
41. Кочергин А.И. Конструирование и расчет металорезающих станков и станочных комплексов. – Минск: Высшая школа, 1991. – 382 с.
42. Детали и механизмы металорезающих станков/ Под ред. Д.Н. Решетова: В 2 т. – М.: Машиностроение, 1972. – Т.1. – 664 с.; Т.2 – 520 с.
43. <https://cnc.prom.ua/p1121891462-vint-shvp-1605.html>
44. <https://cnc.prom.ua/p108241081-gajka-dlya-shvp.html>
45. О.П. Михайлов, Р.Т. Орлова, А.В. Пальцев современный электропривод станков с ЧПУ и промышленных роботов. – Москва: «Высшая школа», 1989. – 111 с.
46. <http://zaxis.ru/statyi/preimushchestva-i-nedostatki-shagovyh-dvigatелеj.html>

47. <https://www.kennametal.com/en/resources/engineering-calculators/end-milling-calculators/force-torque-and-power.html?dv=1516431702585>
48. В. Головня. Деталі машин. – ЖДТУ, 2016. – 97 с.
49. ISO 2901:2016 ISO metrical trapezoidal threads – Basic and design profiles.
50. Richerzhagen B. Chip singulation process with a water-jet guided laser / B. Richerzhagen // Solid State Technology. – 44(4). – 2001. – P. 25–28.
51. Гиндин П.Д. Математическая модель термоласкалывания хрупких анизотропных материалов / П.Д. Гиндин // Поверхность. – №1. – 2010. – С. 14–18.
52. Richerzhagen B. Waterjet-guided Laser Processing // B. Richerzhagen, M. Kutsuna, H. Okada, T. Ikeda // SYNOVA S.A. – Switzerland.
53. Коваленко В.С. Лазерная технология: Учебник / В.С. Коваленко. – К.: Выща шк. Головное изд-во. – 1989. – 280 с.
54. Eric Krause. Laser MicroJet/ EPMT–EPHJ Swissphotonics seminar. – June 2015, 4th – p. 42.
55. Пат. 63732 U Україна, МПК В24В 41/00. Пристрій для виконання струминно-променевої обробки матеріалів / Саленко О. Ф., Дудюк В. О., Холодний В. Ю.; заявник і патентотримач Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. u 201015758; заявл. 27.10.2010; опубл. 25.10.2011, бюл. №20, 2011 р.
56. Naeem M. Laser Percussion Drilling of Coated and Uncoated Aerospace Materials with a High Beam Quality and High Peak Power Lamp Pumped Pulsed Nd:YAG Laser / M. Naeem, M. Wakeham // 29th International Congress on Applications of Lasers & Electro-optics. – 2010.
57. Гейчук В.М. Динамічне моделювання механізмів верстатів та машин в Auto-desk Inventor: навч. посіб. Навчальне електронне видання. [для студ. вищ. навч. закл.] / В.М. Гейчук, С.В. Вакуленко. - Київ: НТУУ "КПІ", 2015. – 167 с.

58. Гейчук В.М. Системи комп'ютерного проектування верстатів: метод.вказівки. Навчальне електронне видання. [для студ. вищ. навч. закл.] / В.М. Гейчук, - Київ: НТУУ "КПІ", 2015. – 46 с.
59. Гейчук, В. М. Оптимізація вузлів і деталей верстатів та машин за допомогою модуля «Анализ напряжений» AutodeskInventor [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Прикладна механіка» / В. М. Гейчук, К. М. Рудаков ; НТУУ «КПІ» ; відп. ред. О. О. Боронко. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,72 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 176 с. – Бібліогр.: с. 162-164. – Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/15414>.
60. ООО «ТЕСИС», Система моделирования движения жидкости и газа FlowVision версия 2.5.4. Примеры решения типовых задач – Москва: ООО «ТЕСИС», 1999-2008, – 203с.
61. ООО «ТЕСИС», Система моделирования движения жидкости и газа FlowVision версия 2.5.4. Руководство пользователя – Москва: ООО «ТЕСИС», 1999-2008, – 285с.
62. М.К. Михайлова, Ю.В. Фишер, А.Е. Щегляев, Моделирование истечения из суживающегося сопла – Москва: ООО «ТЕСИС», в рамках проведения международного семинара «AIAA Propulsion Aerodynamics Workshop».

[illegible]

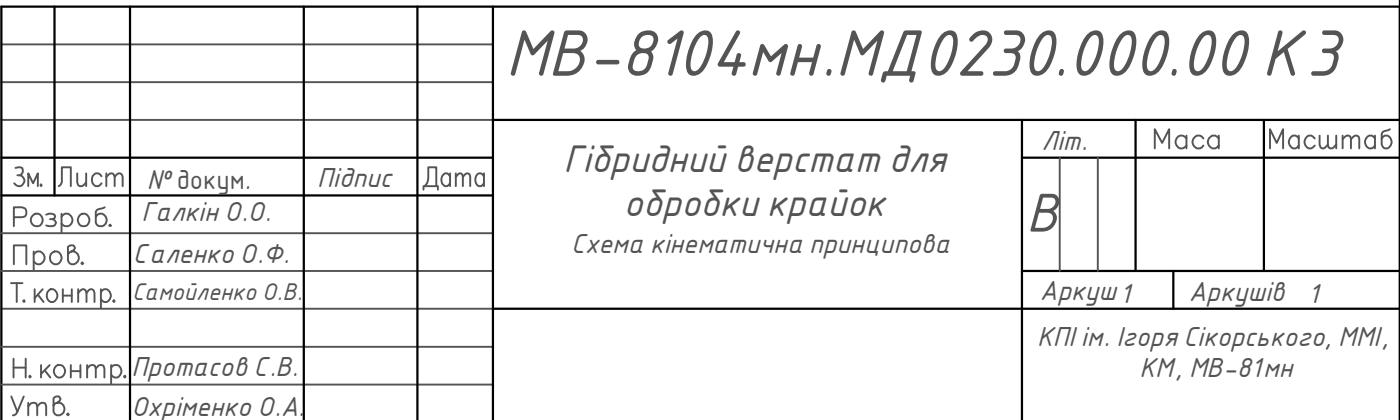
[illegible]

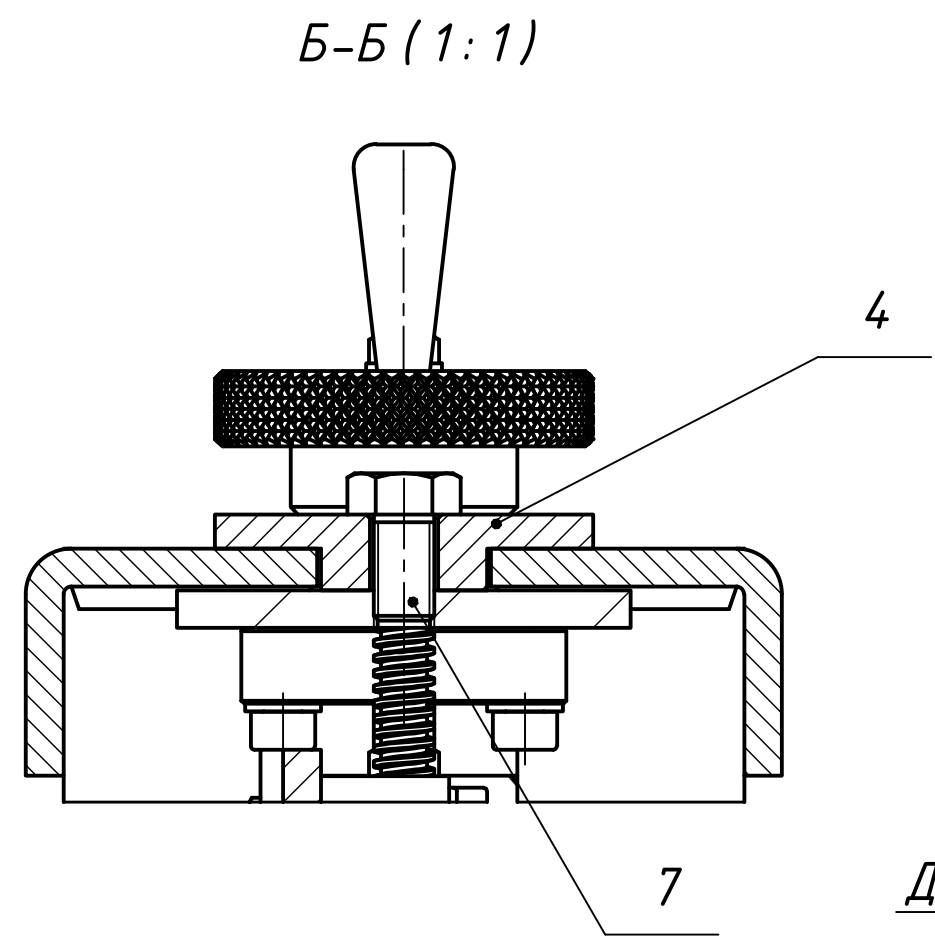
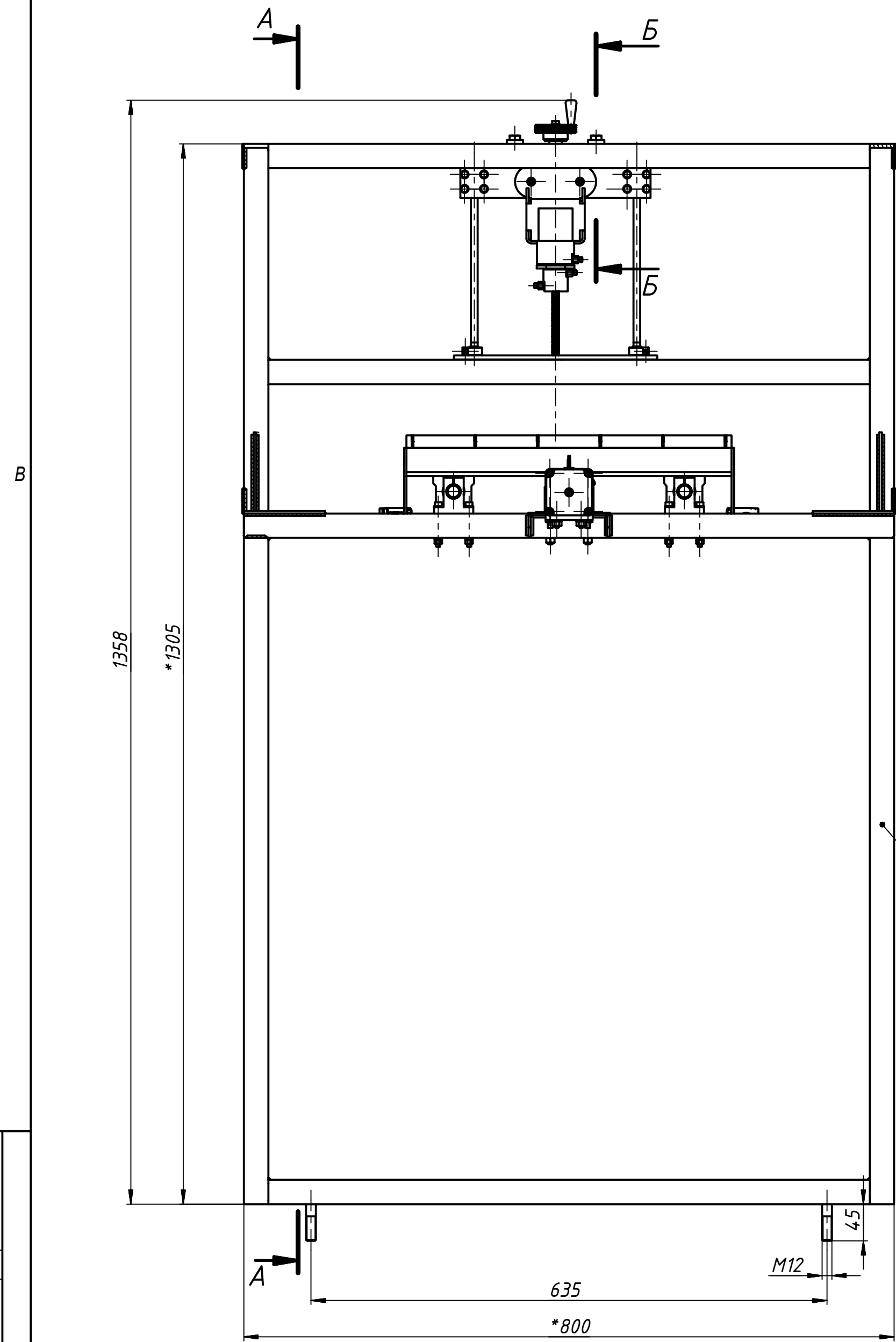
[illegible]

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.	
				Документація			
A1			МВ-8104мн.МД0330.000.00 СК При- від переміщення лазерної головки	Складальне креслення	1		
				Складальні одиниці			
A1		1	МВ-8104мн.МД0330.100.00 СК	Експериментальна лазерна головка	1		
				Деталі			
БК		2	МВ-8104мн.МД0330.000.001	Маховик	1		
БК		3	МВ-8104мн.МД0330.000.002	Ручка маховика	1		
БК		4	МВ-8104мн.МД0330.000.003	Гайка Тг-8мм.	1		
БК		5	МВ-8104мн.МД0330.000.004	Втулка	1		
БК		6	МВ-8104мн.МД0330.000.005	Пластина опорна	2		
БК		7	МВ-8104мн.МД0330.000.006	Пластина кріплення	1		
БК		8	МВ-8104мн.МД0330.000.007	Кронштейн	1		
				Стандартні вироби			
		9		Болт М5-6gx14 ГОСТ 7805-70	10		
		10		Винт М3-6gx5 ГОСТ 11738-84	2		
		11		Винт М5-6gx16 ГОСТ 11738-84	8		
				МВ-8104мн.МД0330.000.00 СК			
Змін.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.	Галкін О.О.				Привід переміщення лазерної голівки Складальний кресленик		
Пров.	Саленко О.Ф.						
Н.контр.	Протасов С.В						
Затв.	Охріменко О.А.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					В	1	2
					КПІ ім. Ігоря Сікорсь- кого, ММІ, КМ, МВ-81мн		

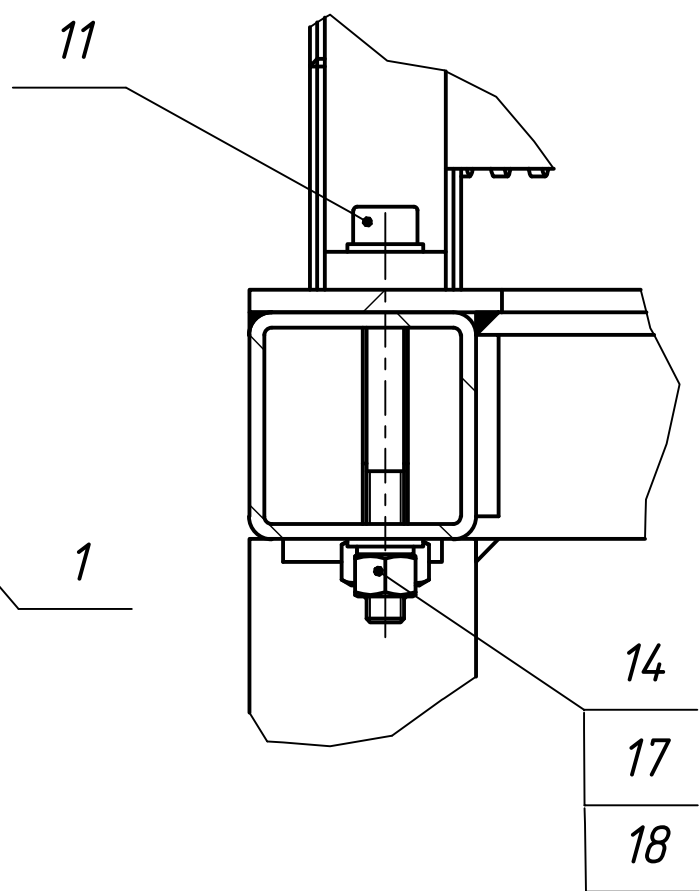
[illegible]

[illegible]

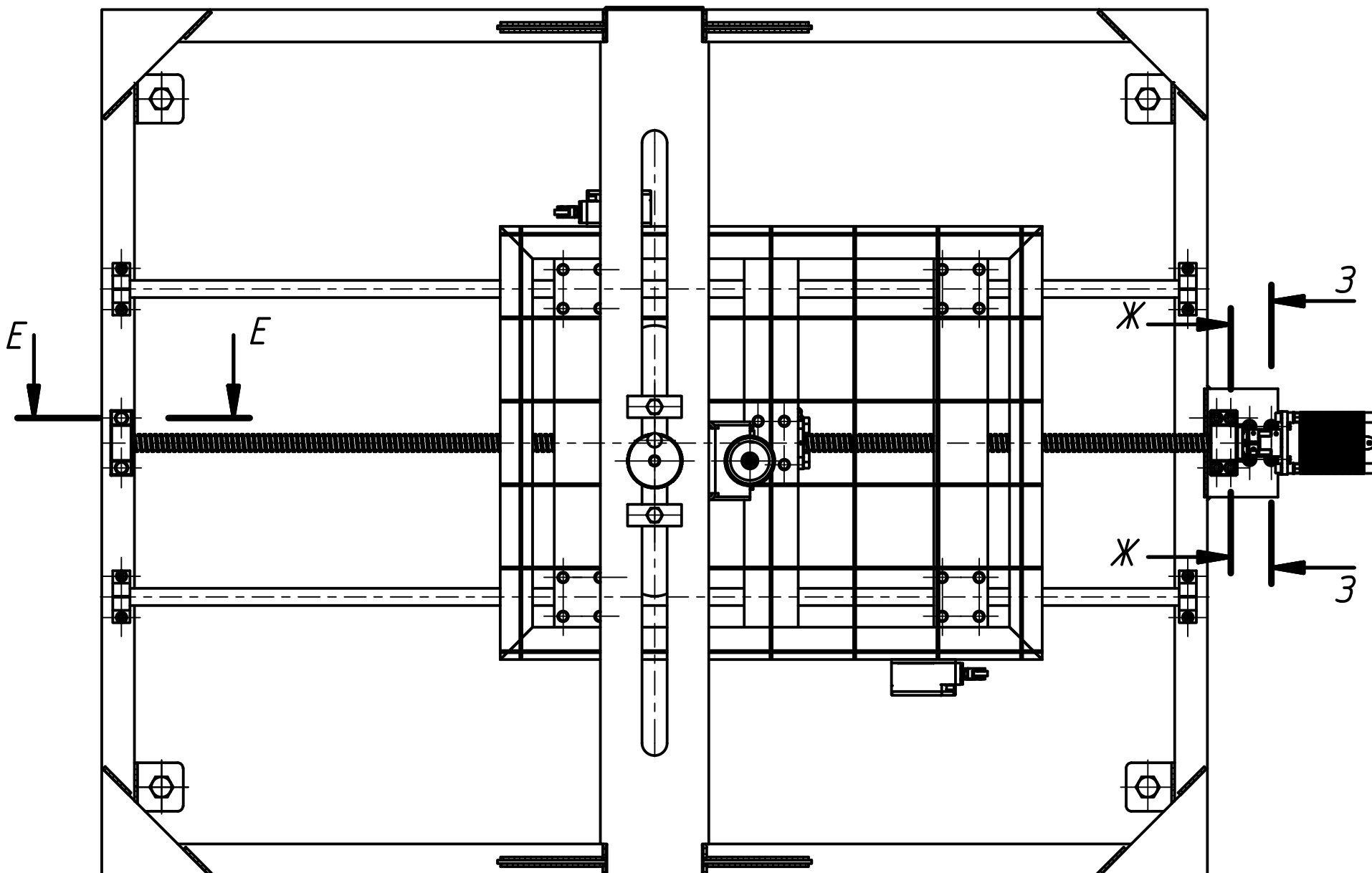
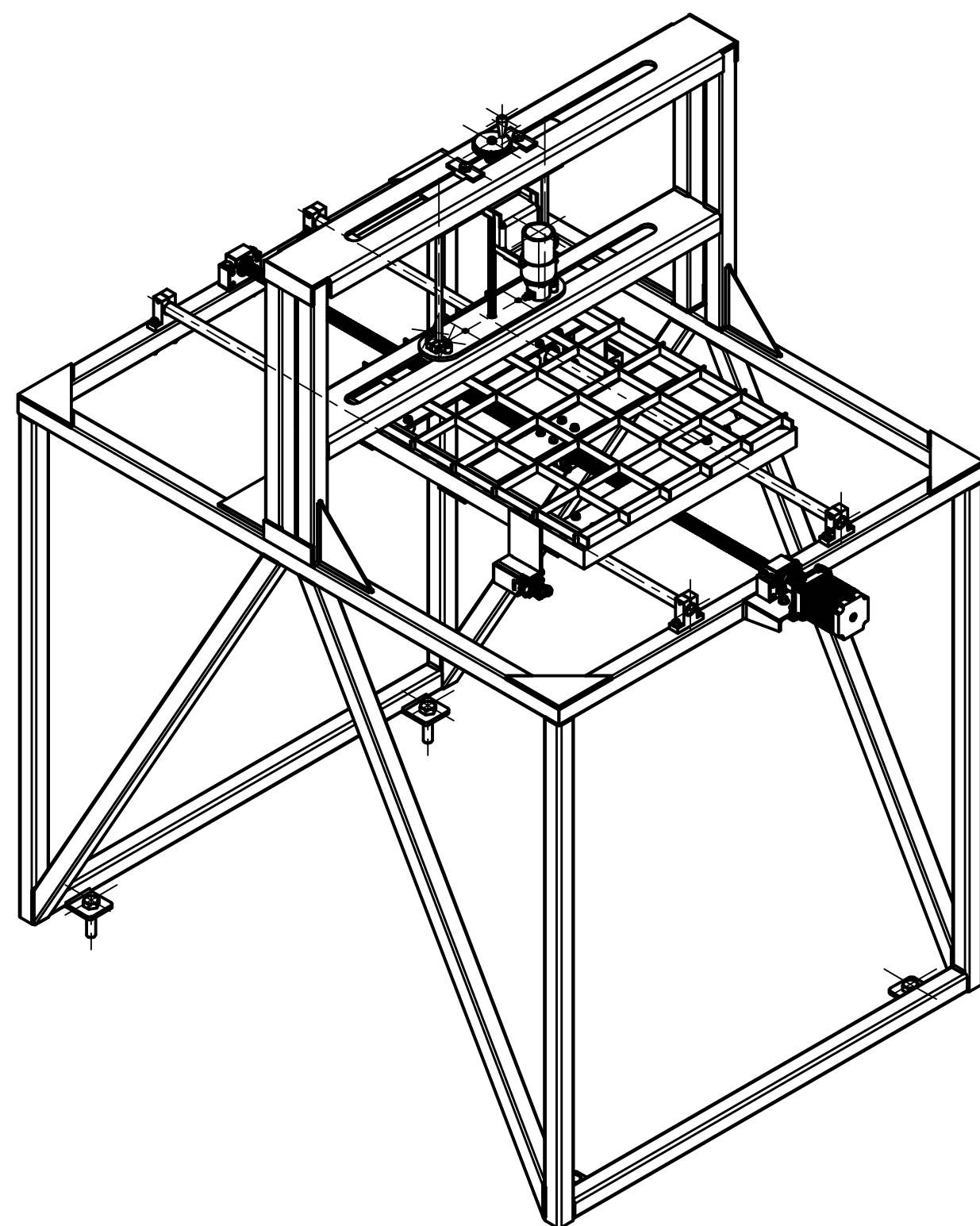
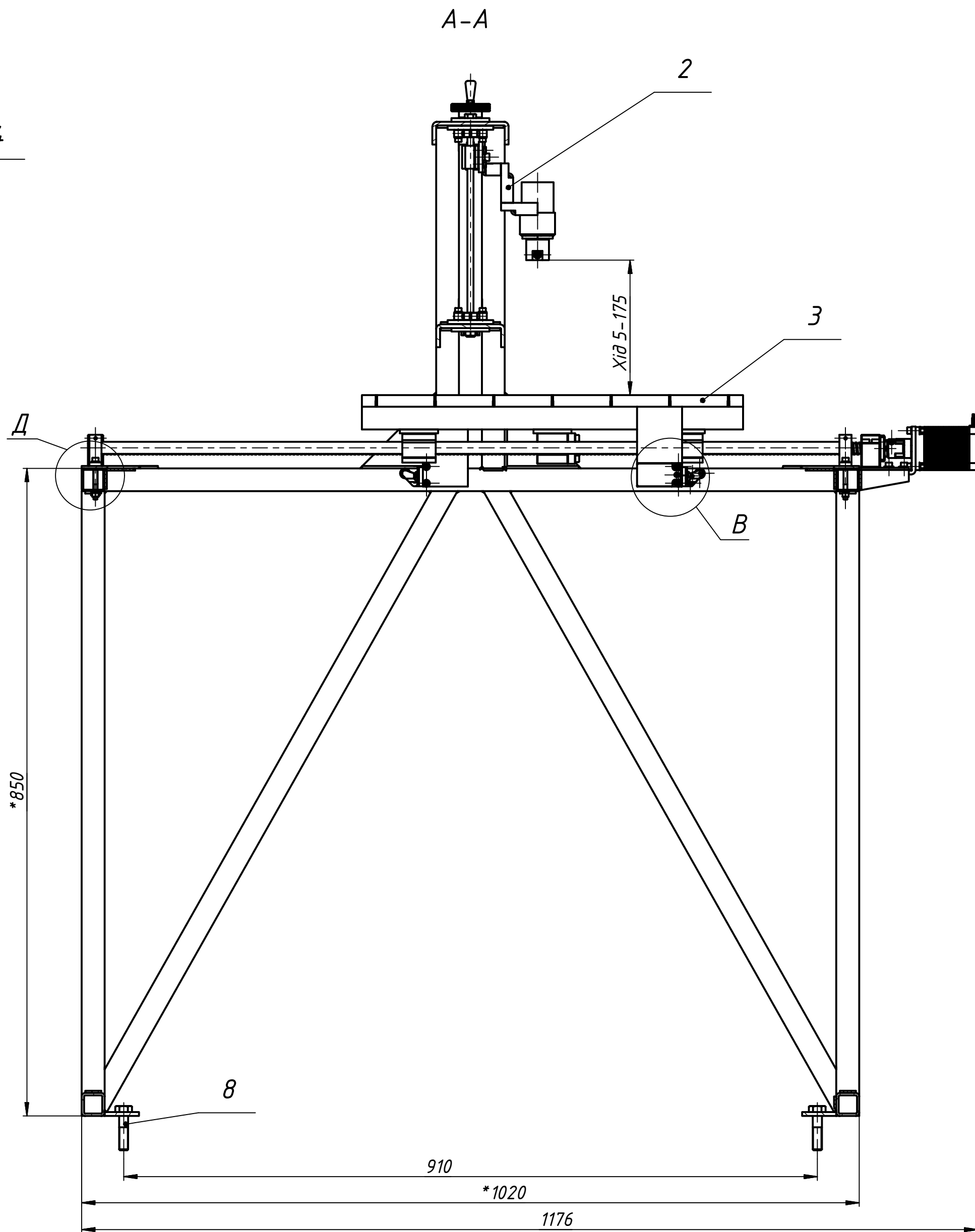
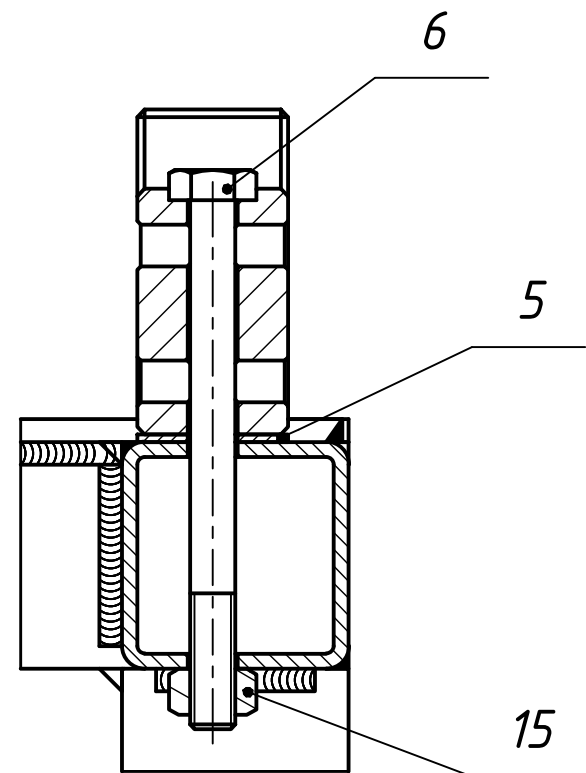




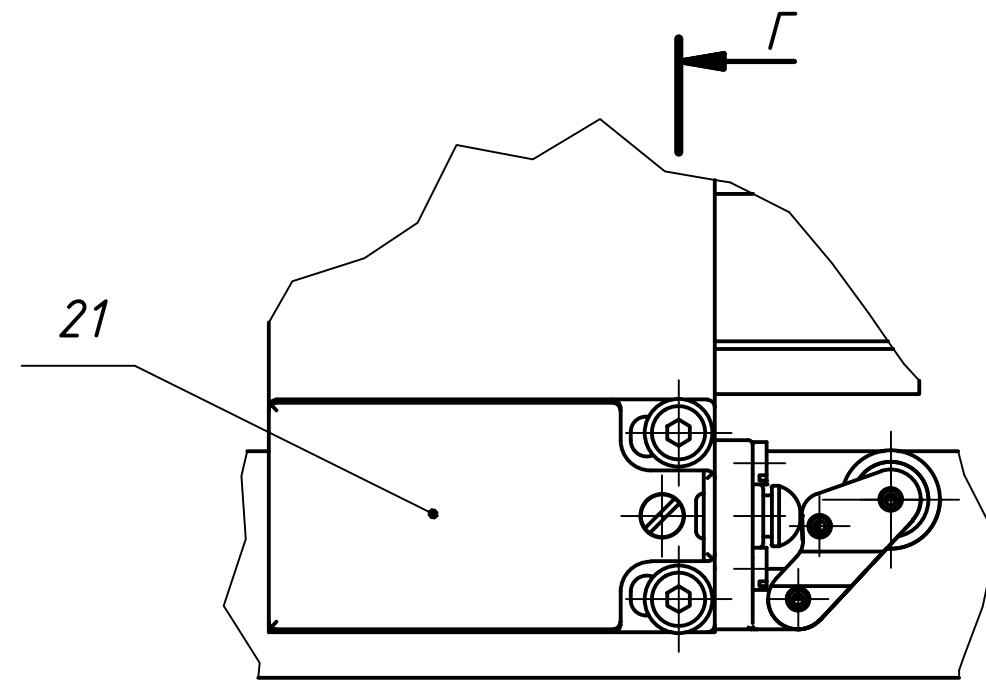
Д (1:1)



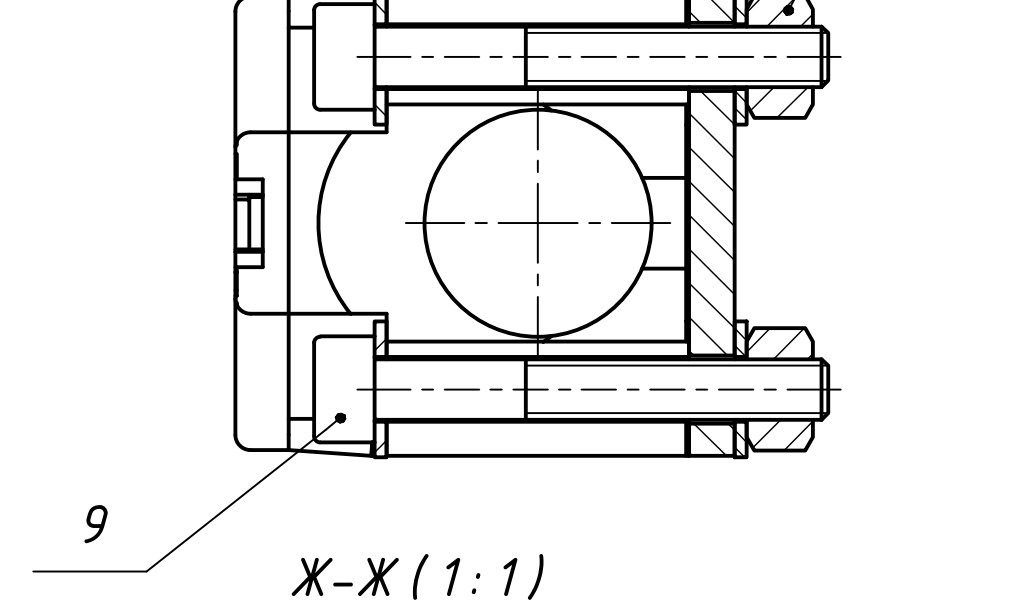
Е-Е (1:1)



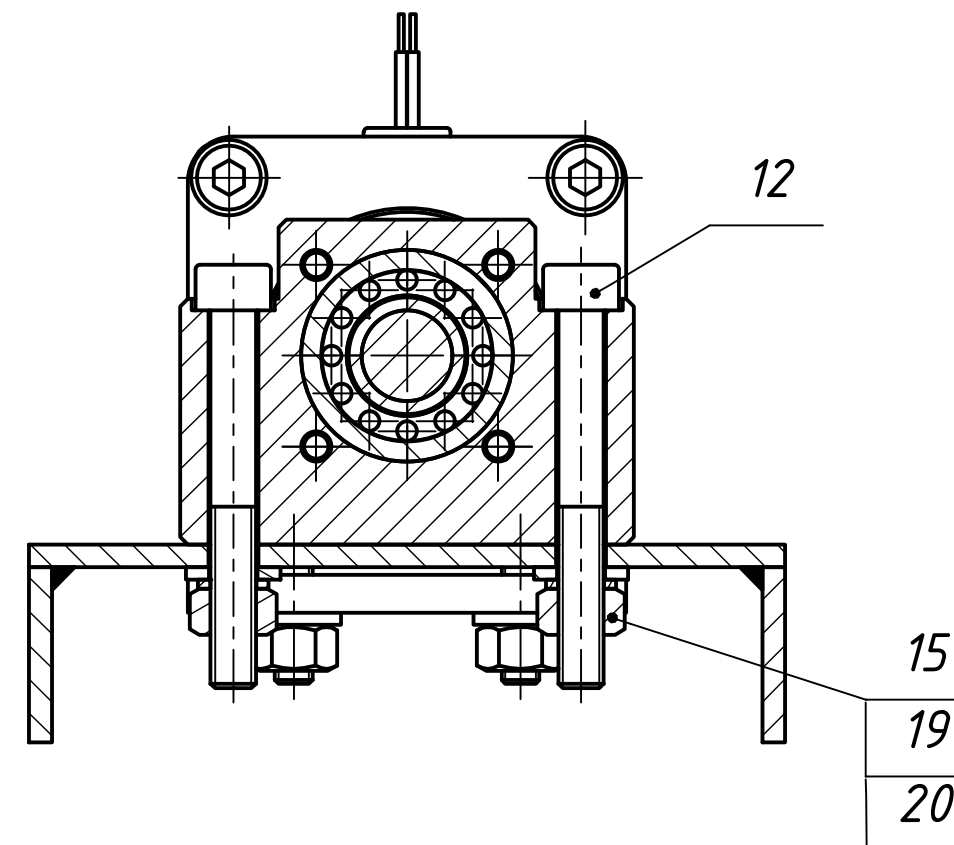
В (1:1)



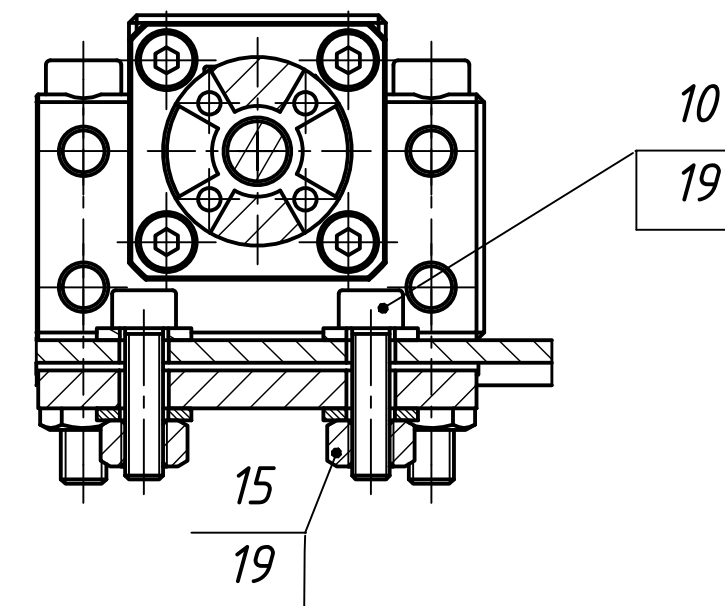
Г-Г (2:1)



Ж-Ж (1:1)



3-3 (1:1)

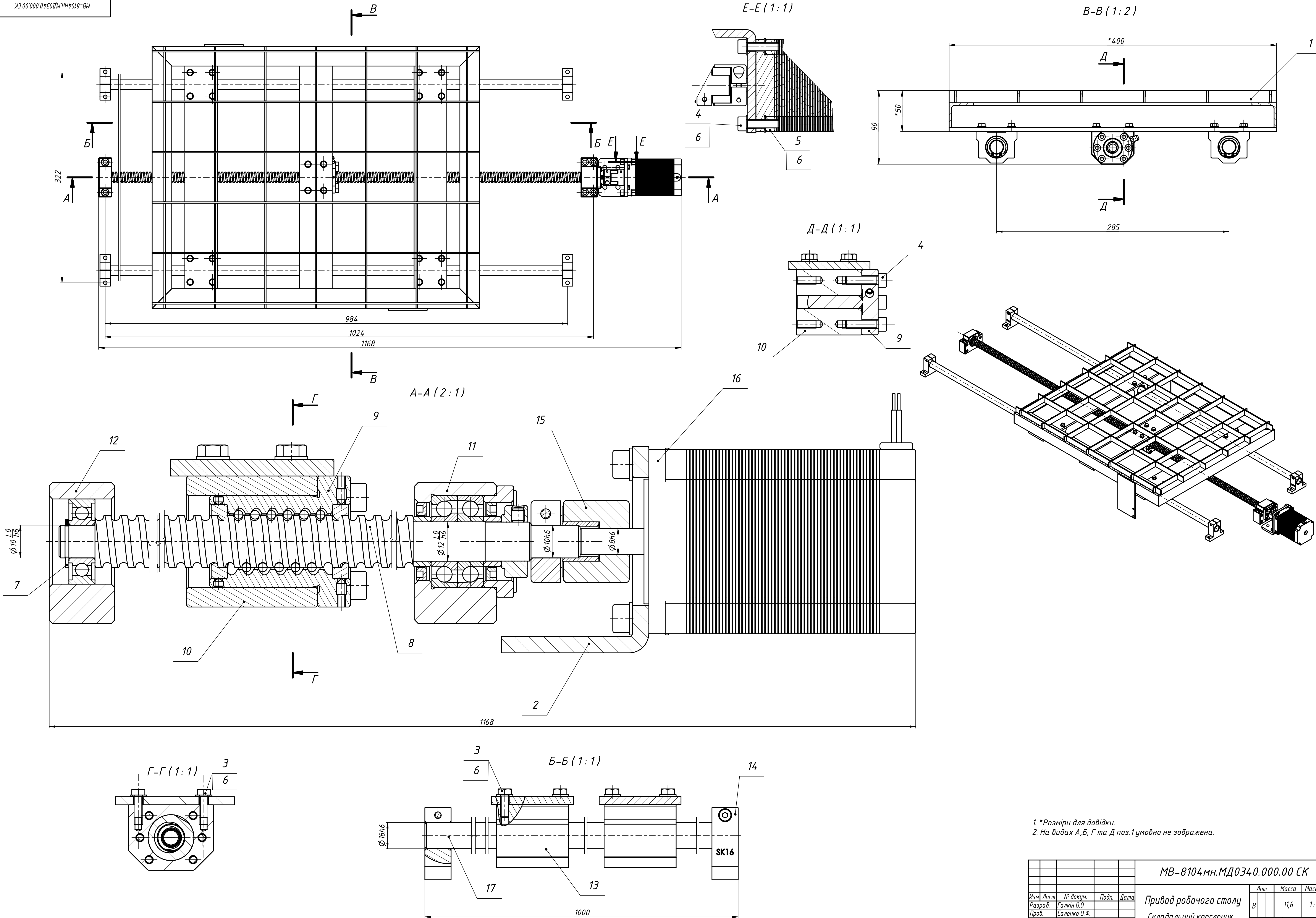


1.*Размеры для довідок.
2.Контролювати рівень шуму не більше 80 дБ.

				МВ-8104МН.МД0310.000.00 СК			
				Гібридний верстат для обробки крайок			
				Складальний кресленик			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Галкин О.О.				В	42,1	1:5
Пров.	Саленко О.Ф.						
Т. контр.	Самойленко О.В.				Лист	Листов	1
Н. контр.	Протасов С.В.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ММІ, КМ, МВ-81мн		
Утв.	Охріменко О.А.				Формат А1		



Формат А1



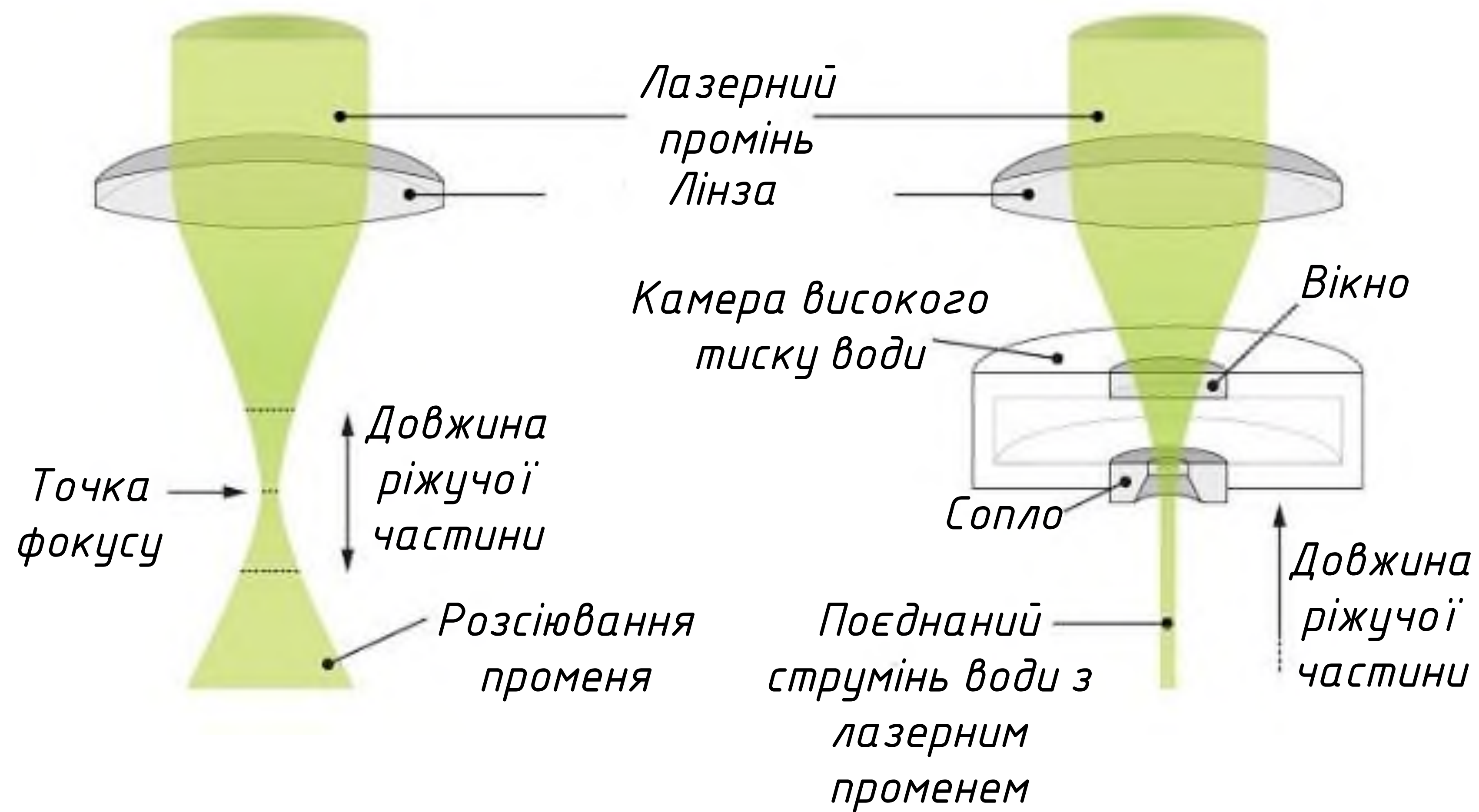
МВ-8104МН.МД0340.000.00 СК							
Привод рабочего стола							
Складальный кресленник							
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Галкин О.О.				В	11,6	1:2,5
Пров.	Саленко О.Ф.				Лист		
Т. контр.	Самойленко О.В.				Листов		
Н. контр.	Протасов С.В.				1		
Утв.	Охрименко О.А.				КП/ИМ.Горя		
					Сікорського, ММІ, КМ,		
					МВ-В1мн		
					Формат А1		



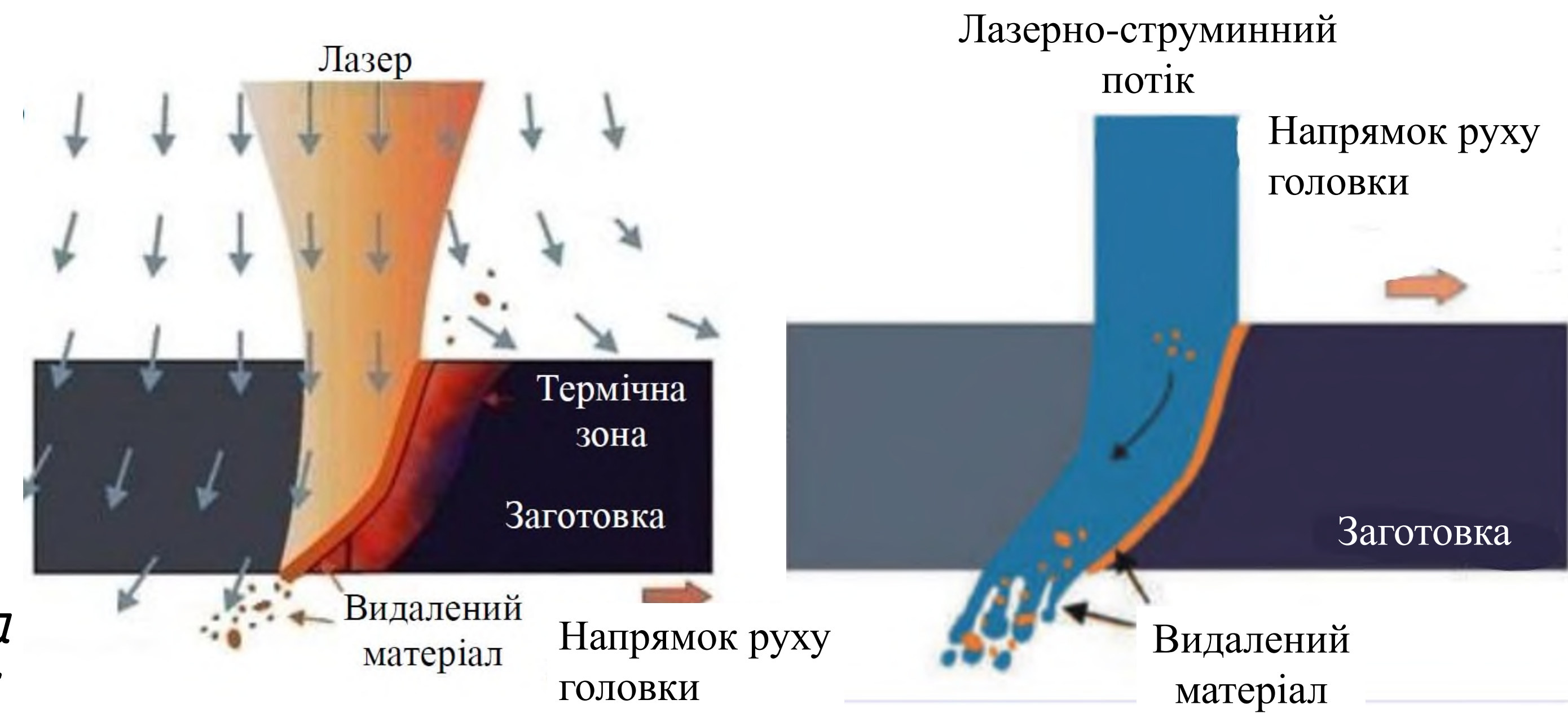
A

1

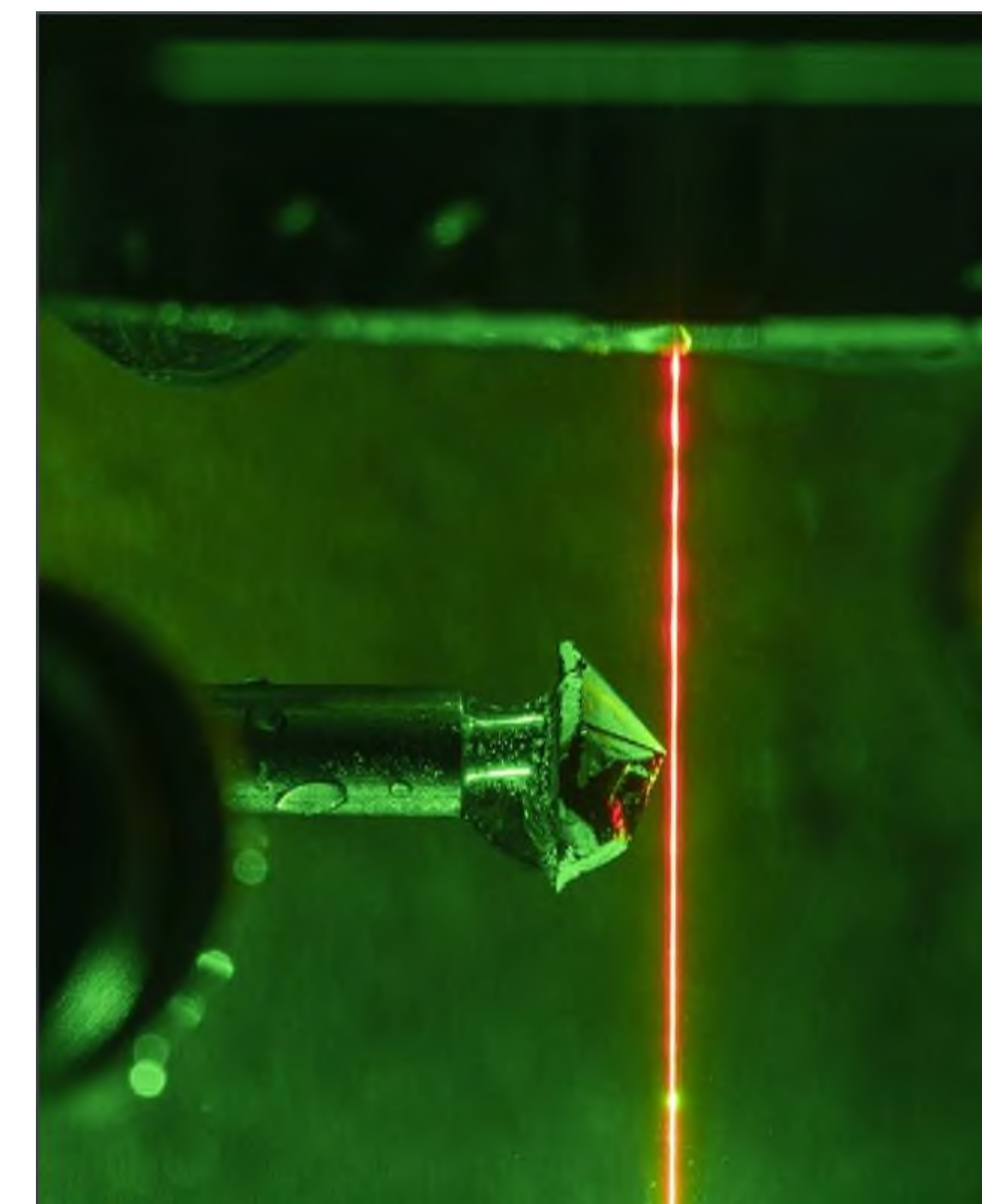
Принцип формування струминно-лазерного потоку



Порівняння впливу лазера та струминно-лазерного потоку на заготовку

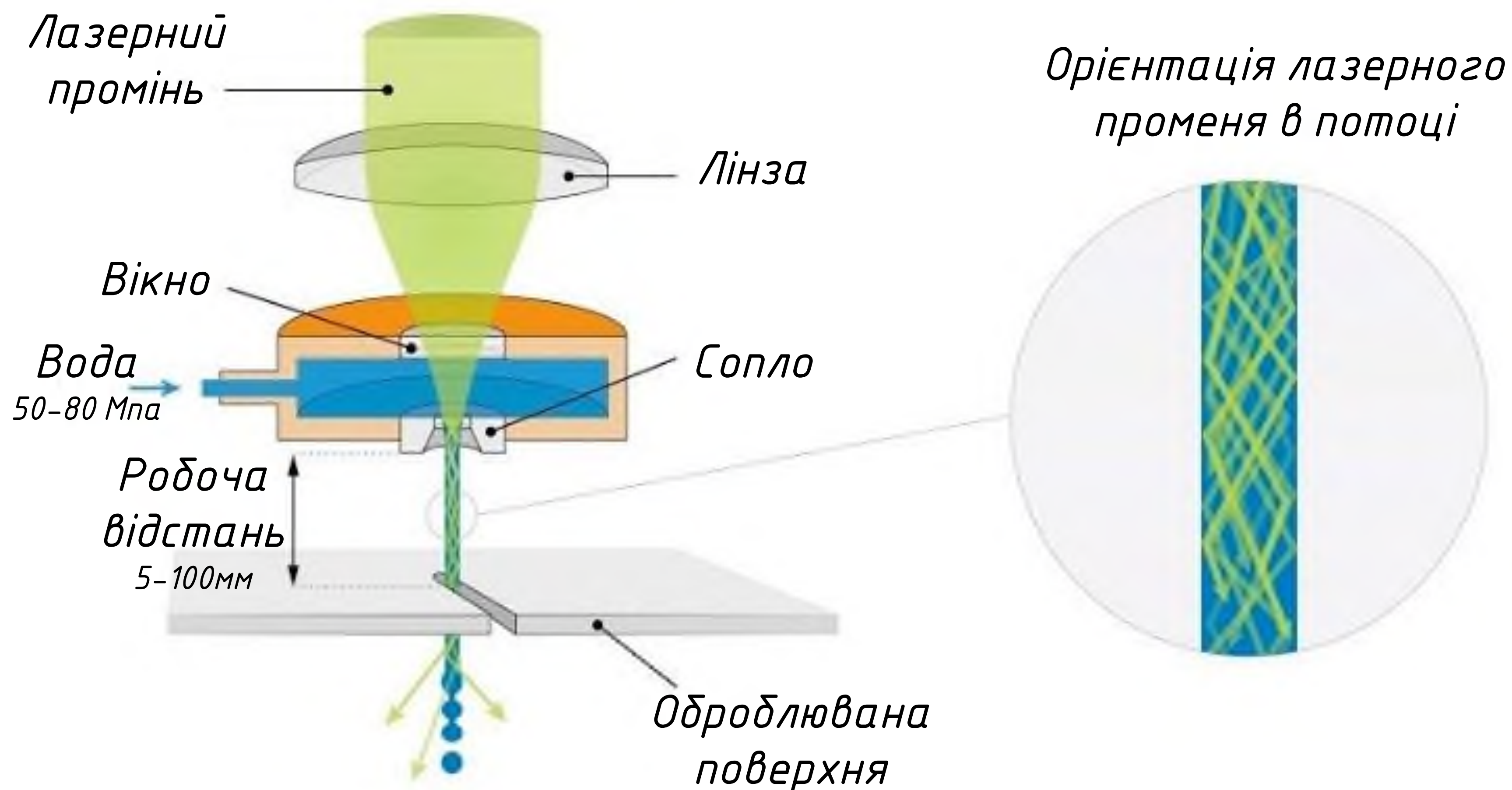


Приклад огранки алмаза струминно-лазерним потоком



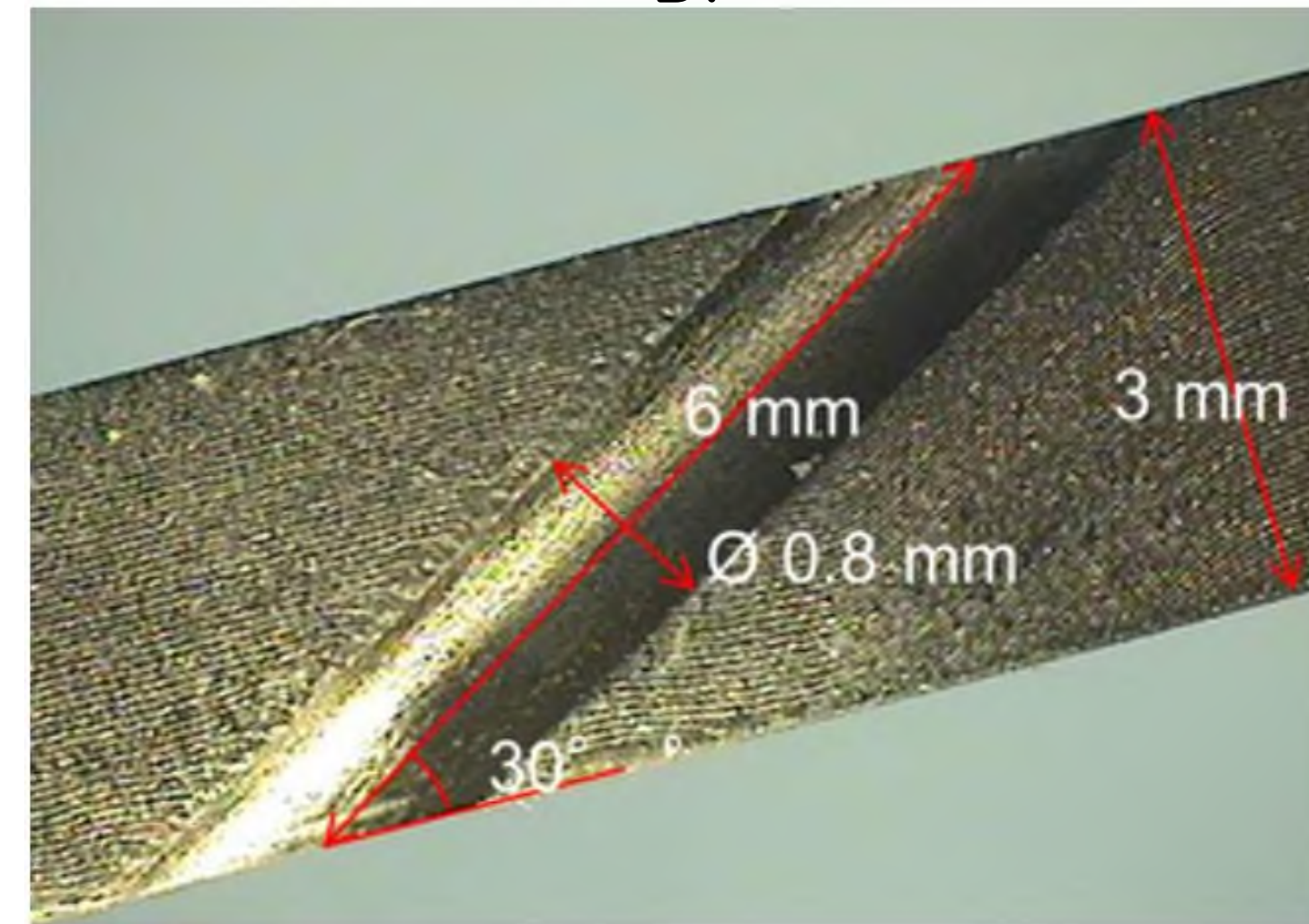
Розробник студент гр.МВ-81мн Галкін О.О. _____
Керівник д.т.н., професор Саленко О.Ф. _____

Схема утворення струминно-лазерного потоку

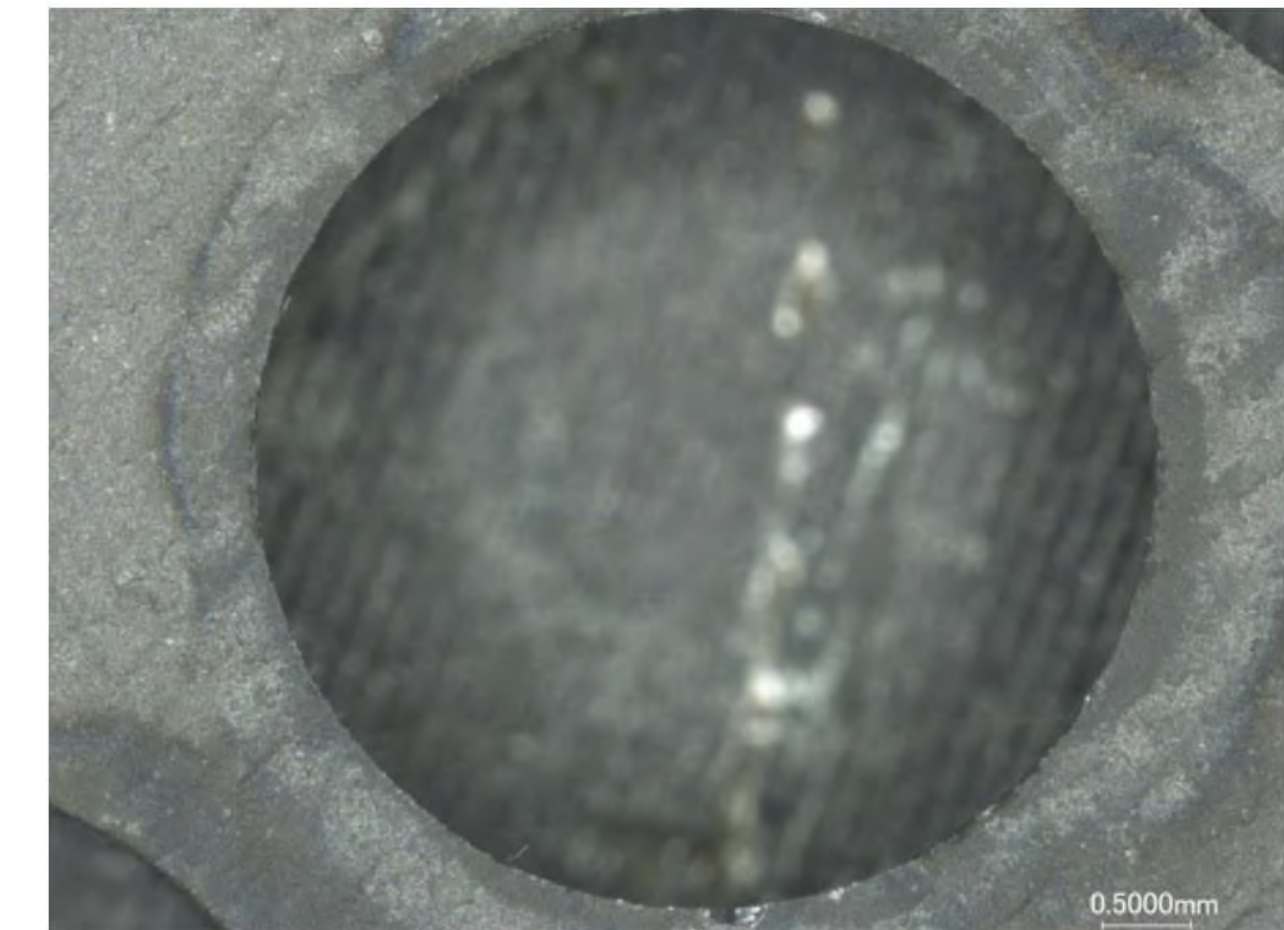
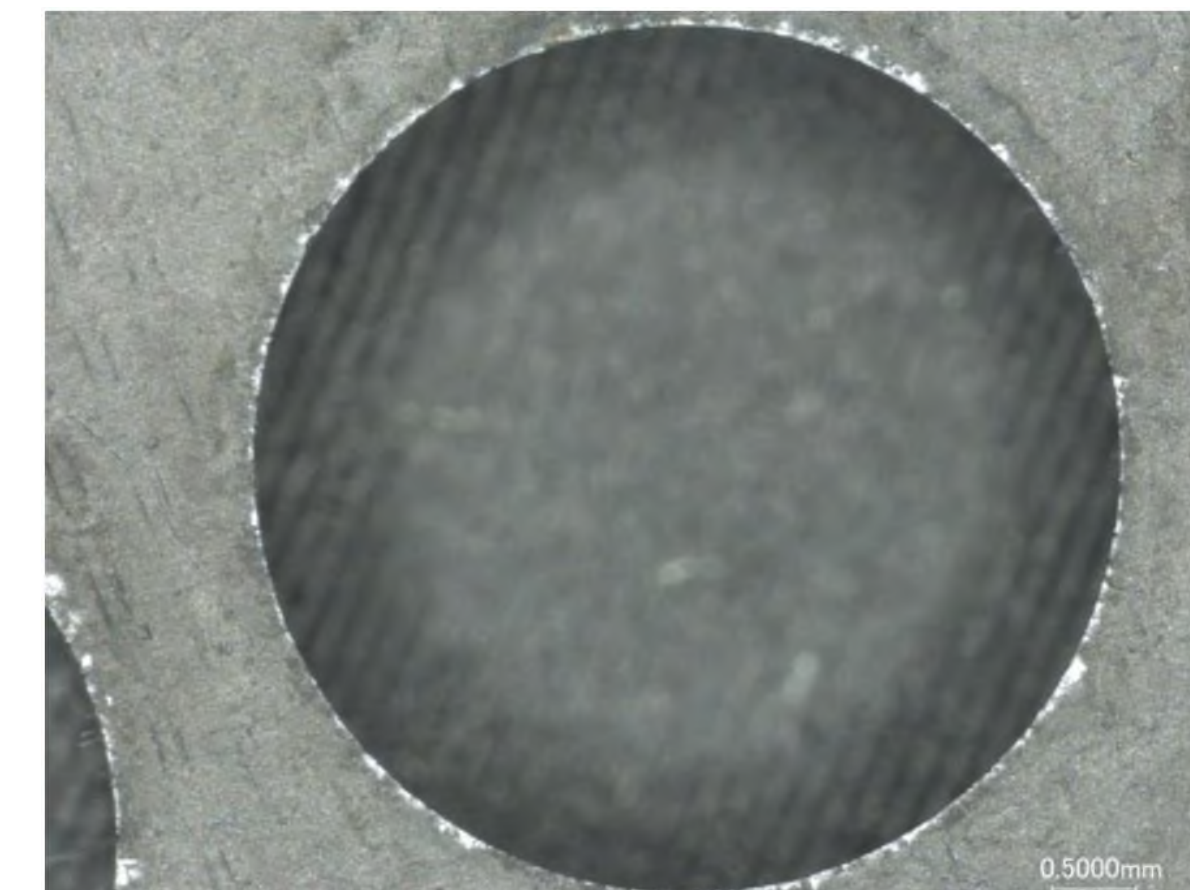


Застосування струминно-лазерної обробки

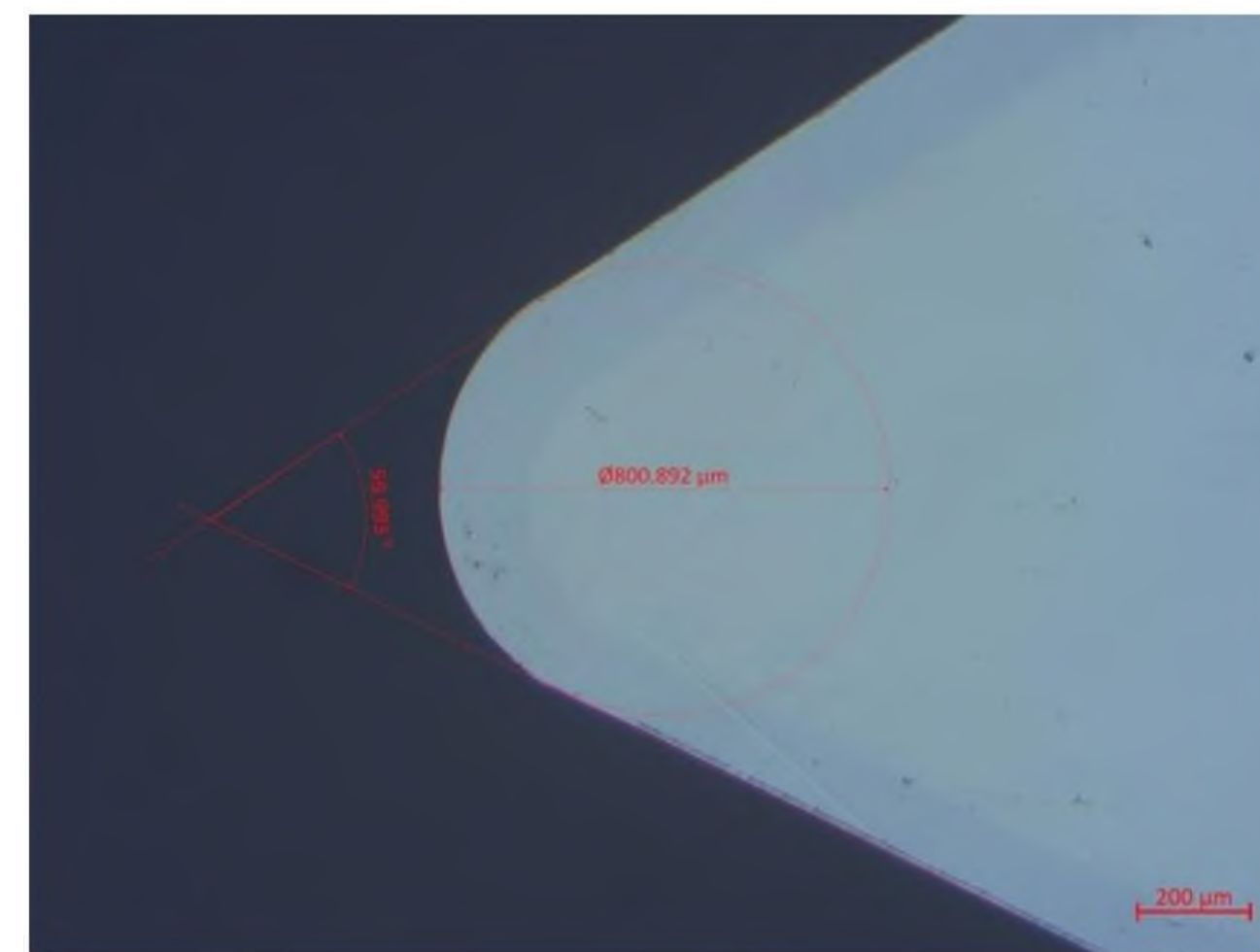
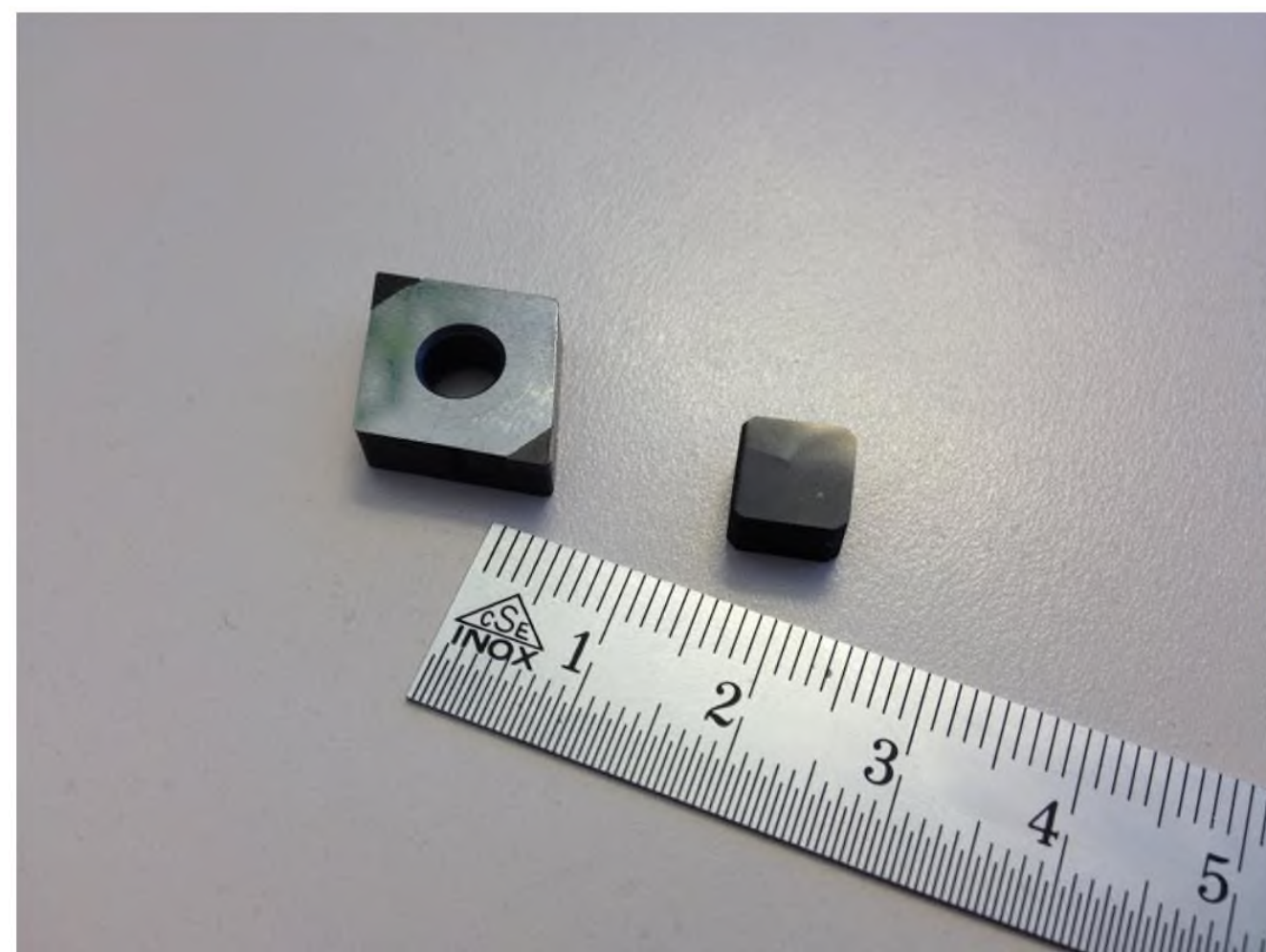
Свердління отворів для охолодження в гарячих секціях компонентів промислових газових турбін.



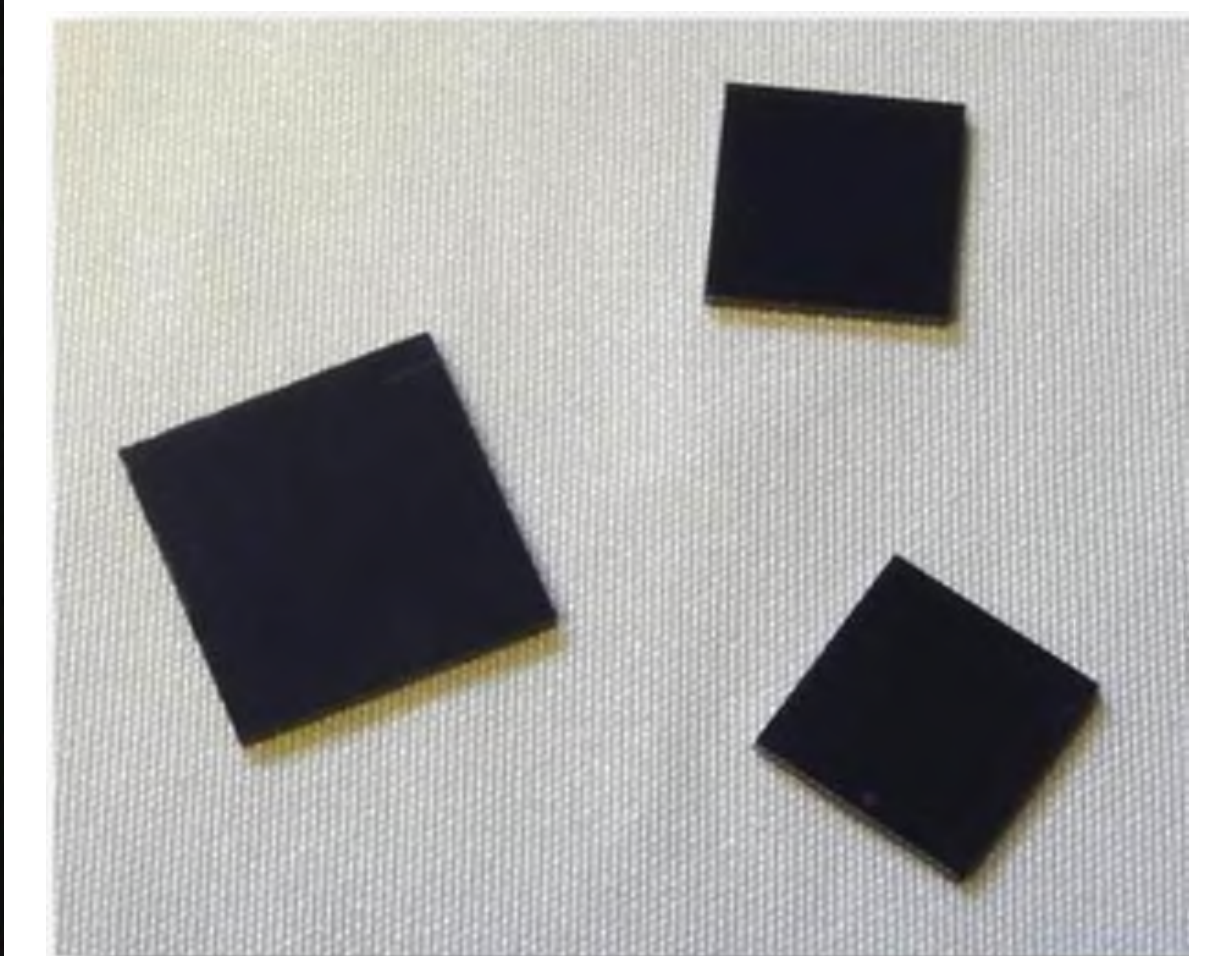
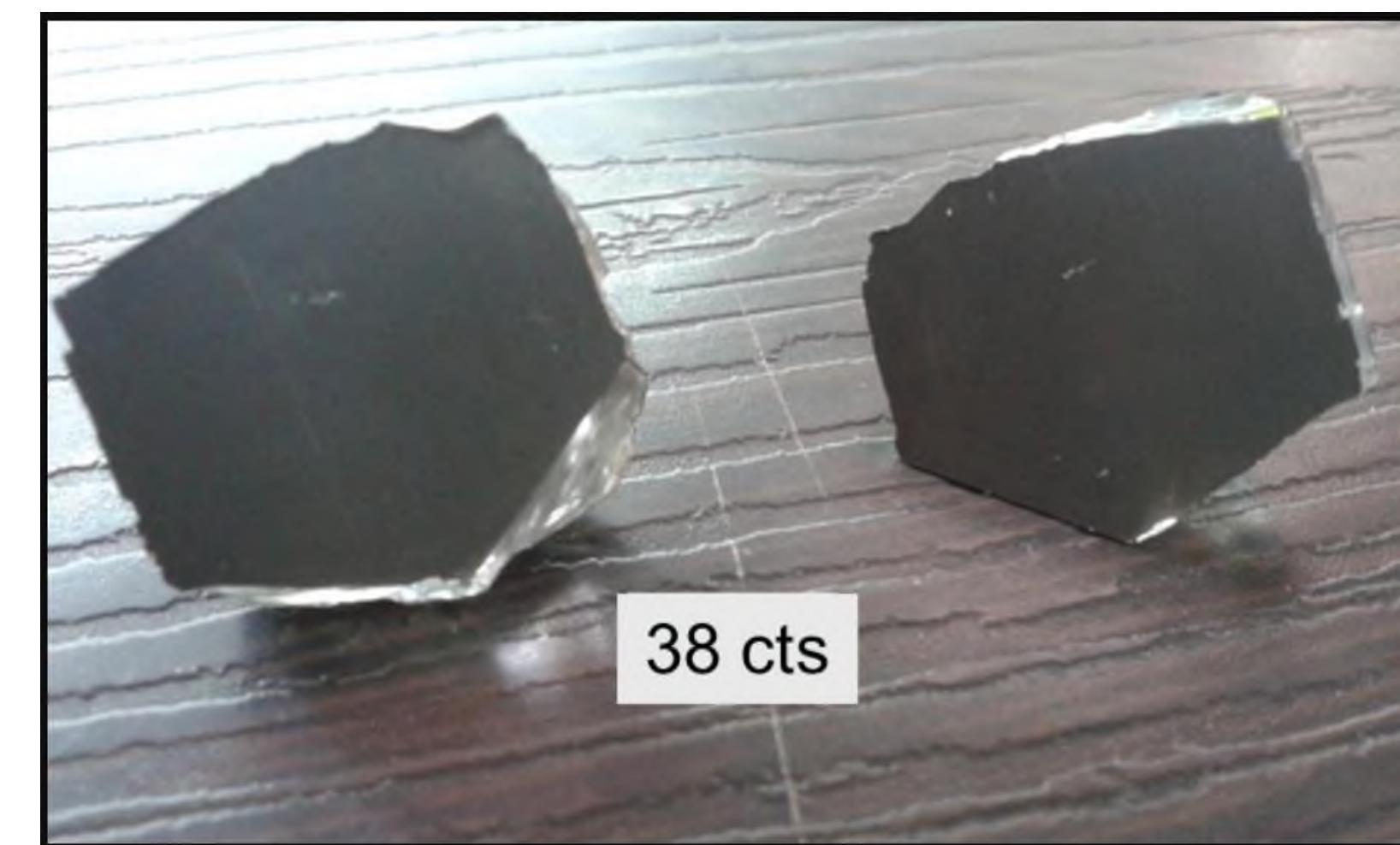
Обробка композитних матеріалів.



Обробка різальних пластинок інструментів.



Різання та облицювання алмазів.



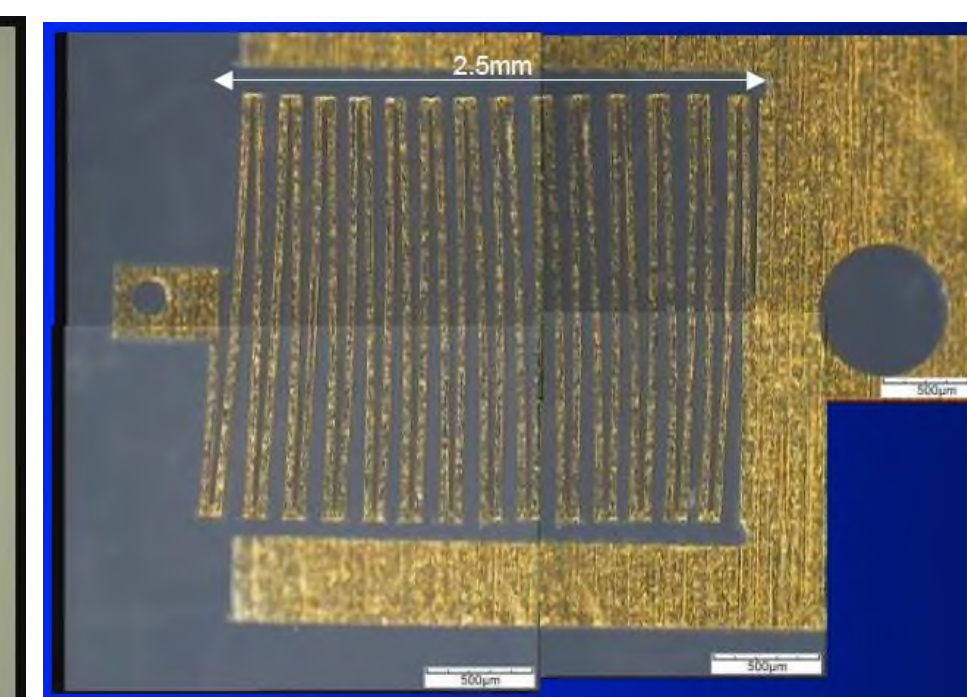
Обробка напівпровідників та діелектриків.



Різання мікросхем



Різання панелей сонячних
батареї

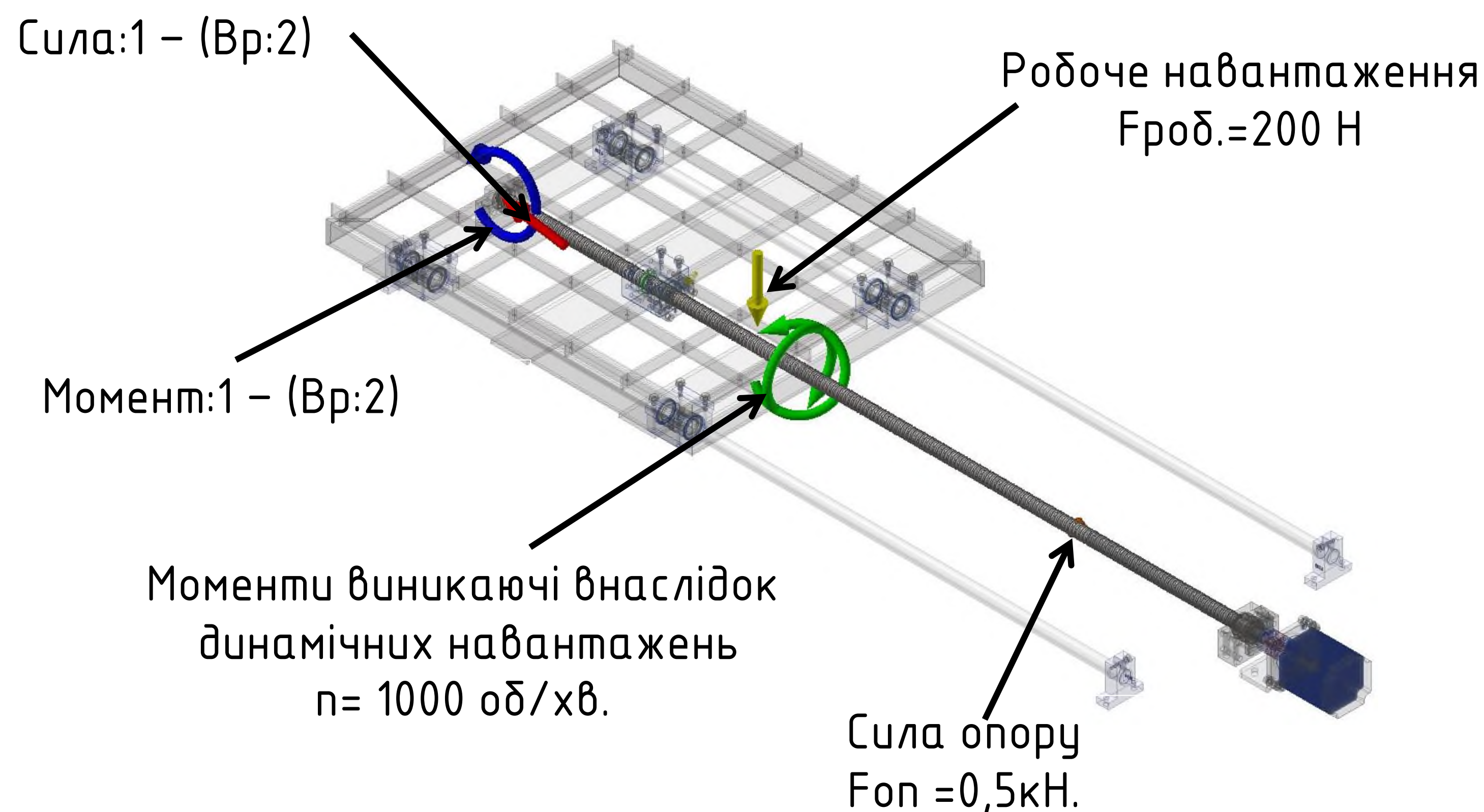


Обробка деталей годинників

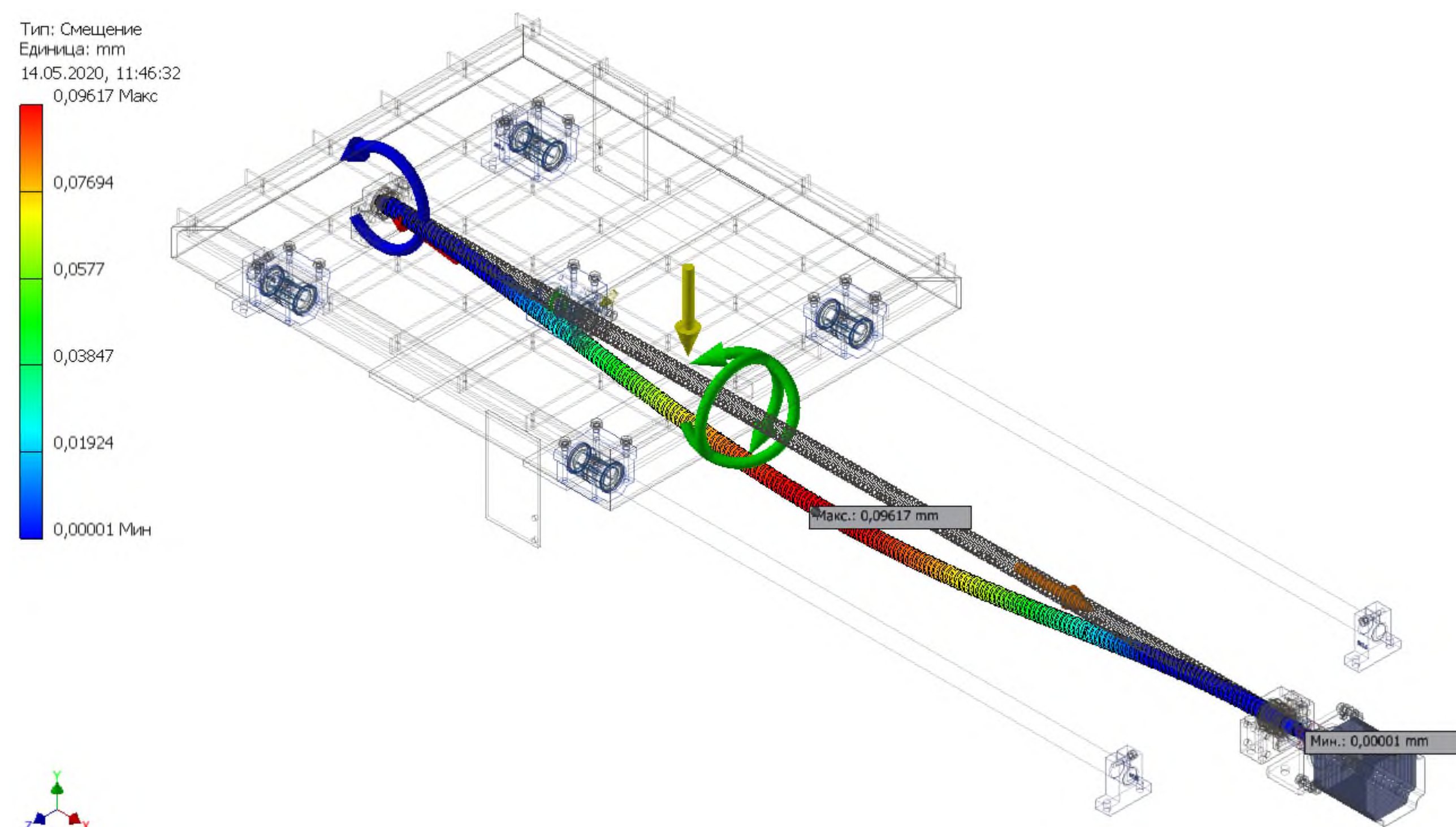
Розробник студент гр.МВ-81мн Галкін О.О. _____
Керівник д.т.н., професор Саленко О.Ф. _____

Розрахунок напружено-деформованого стану ходового гвинта за допомогою динамічного моделювання у середовищі Autodesk Inventor.

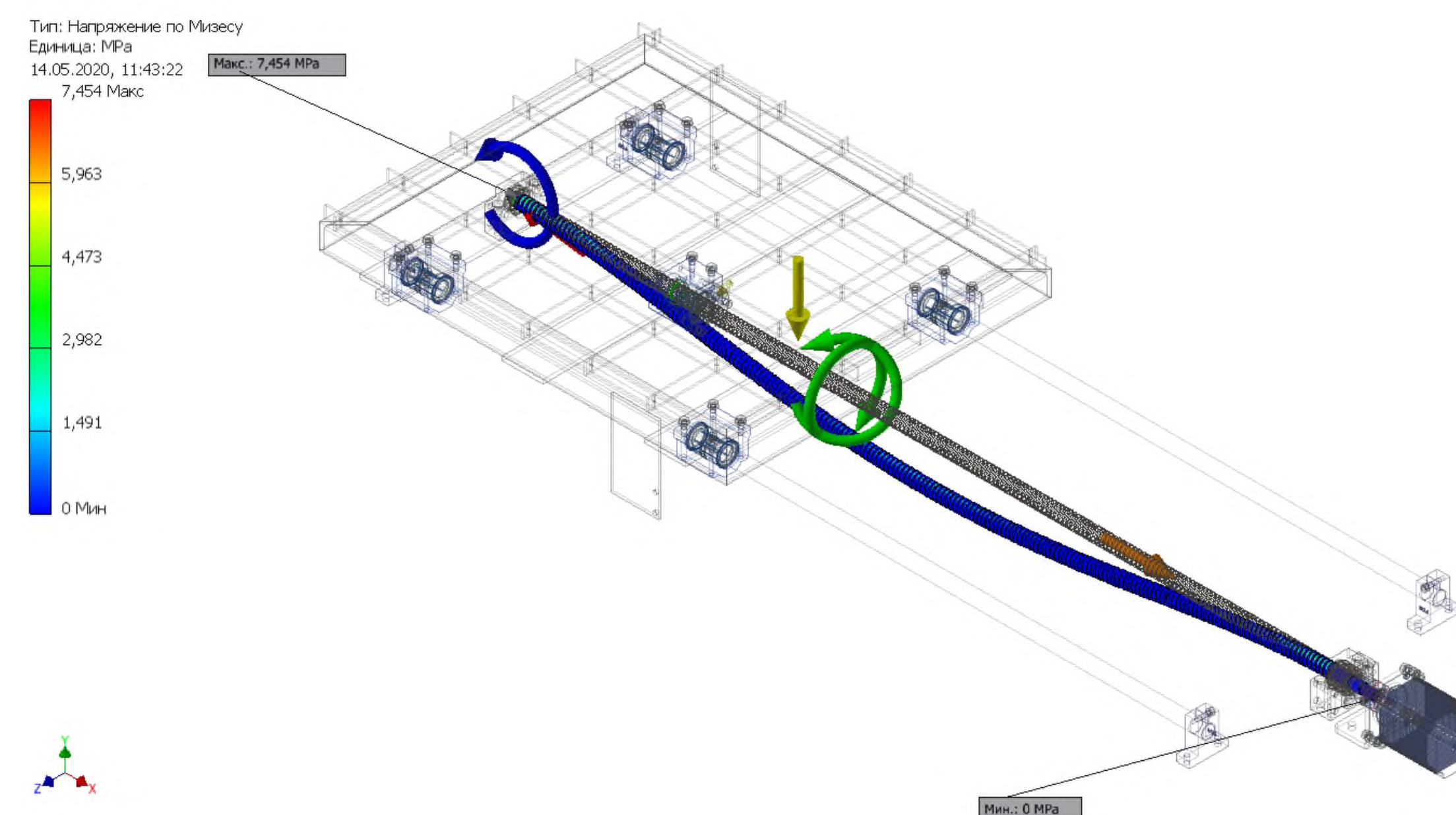
Розрахункова схема



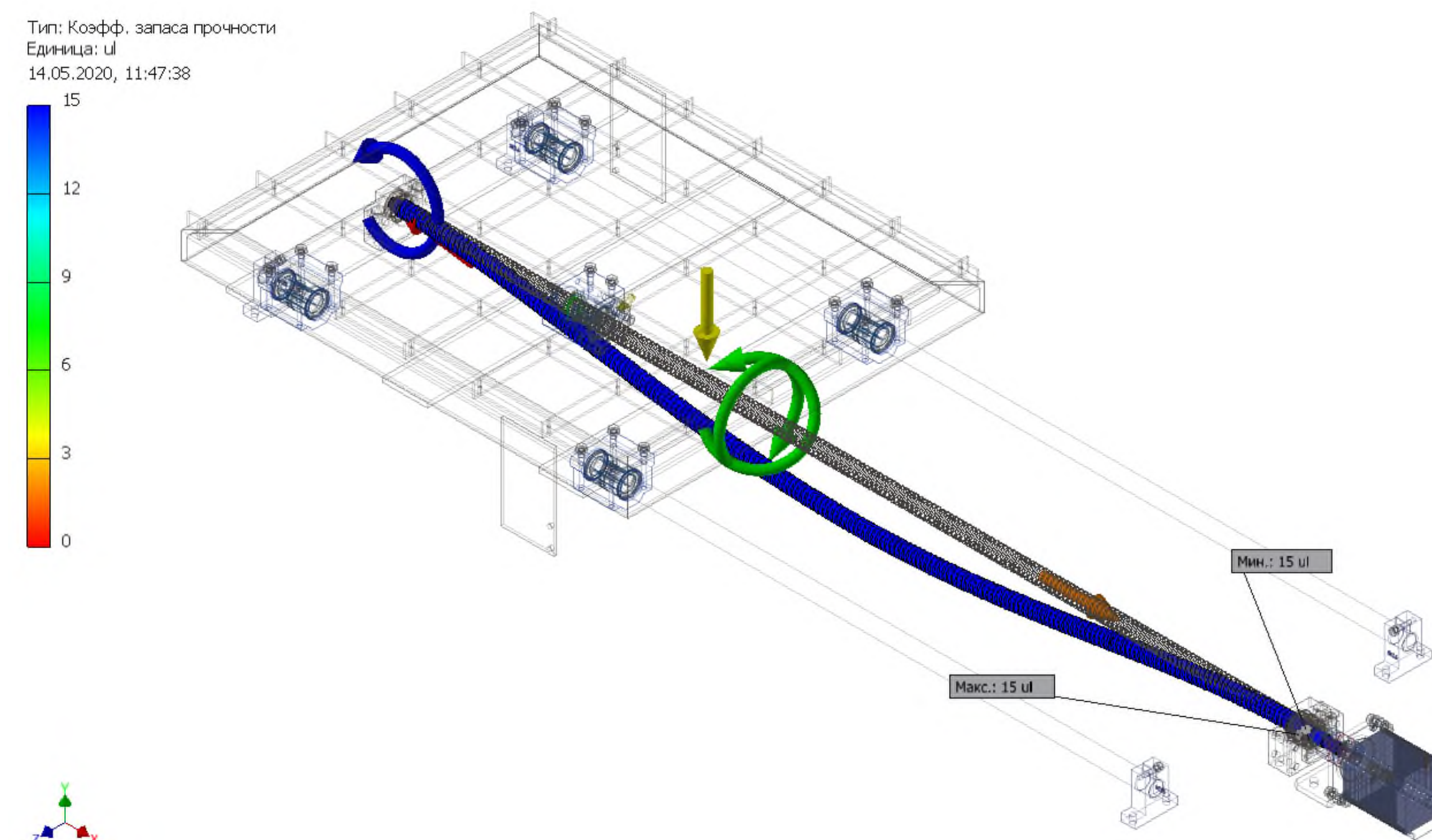
Зміщення



Напруження по Мізесу



Коефіцієнт запасу міцності.

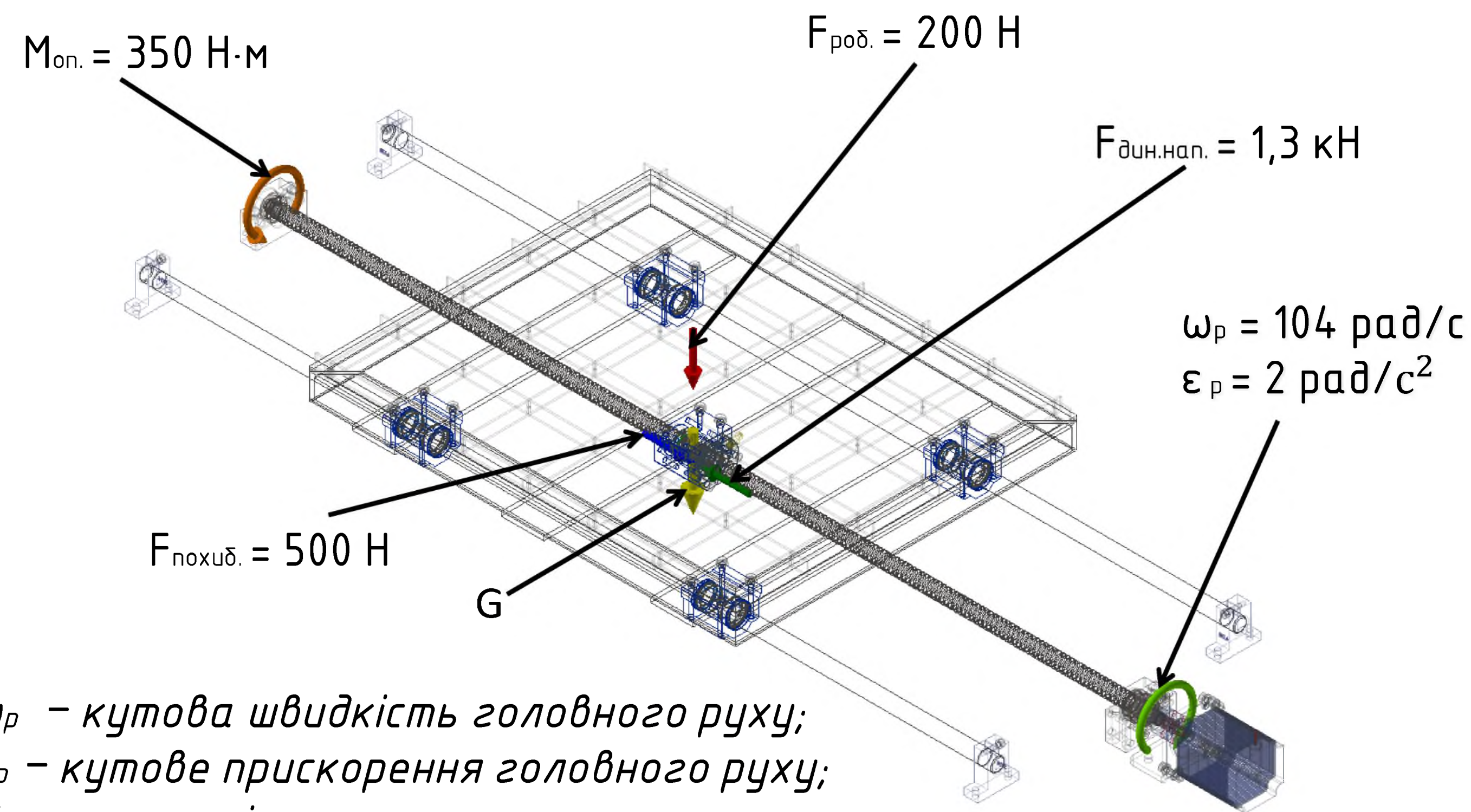


*Матеріал деталі вибрано у відповідності до його призначення та умов експлуатації.

Розробник студент гр.МВ-81мн Галкін О.О. _____
Керівник д.т.н., професор Саленко О.Ф. _____

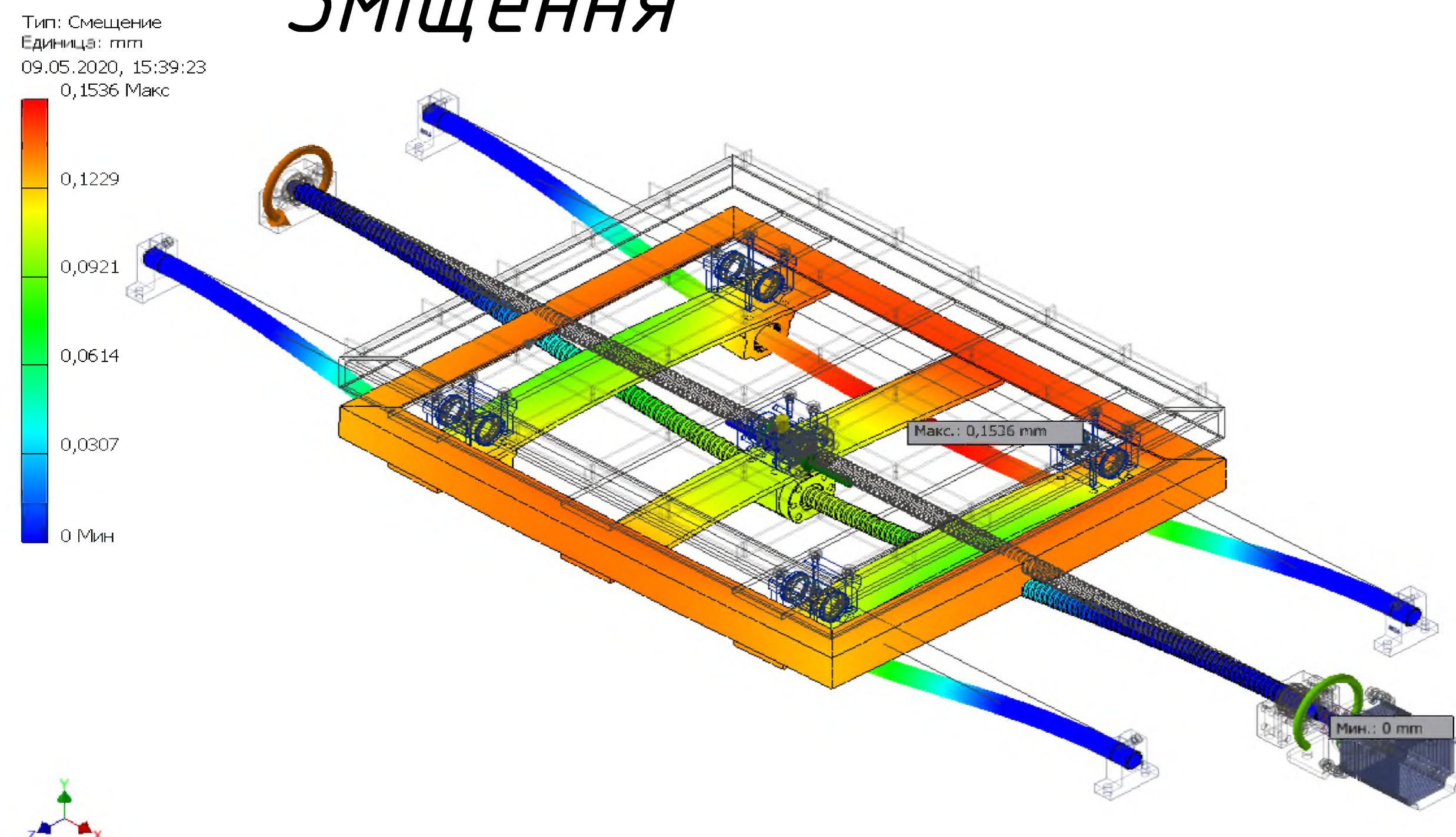
Розрахунок напружено-деформованого стану робочого столу

Розрахункова схема робочого столу

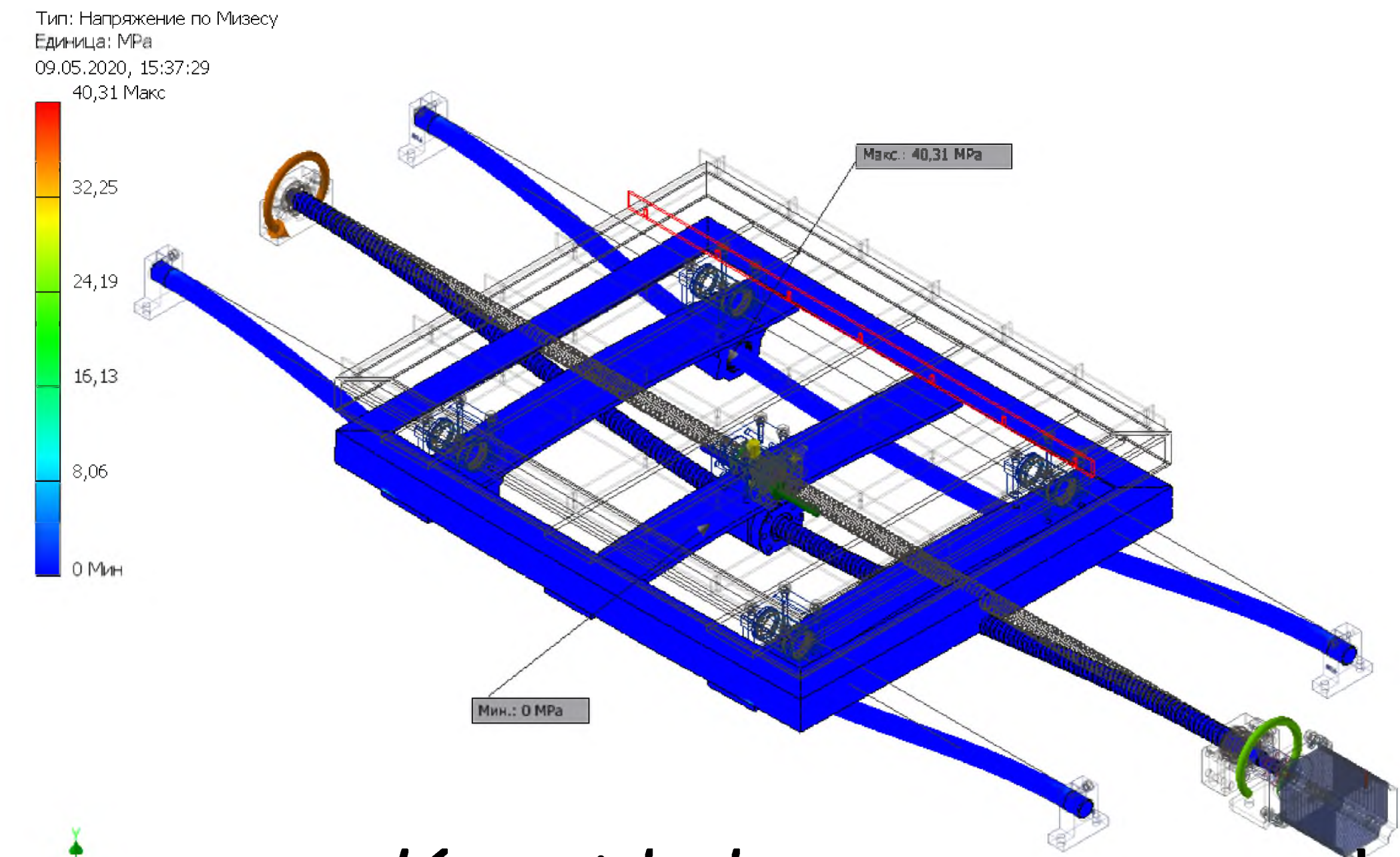


ω_p – кутова швидкість головного руху;
 ϵ_p – кутове прискорення головного руху;
 G – сила тяжіння;
 $F_{роб.}$ – зусилля від робочих навантажень;
 $F_{похиб.}$ – зусилля від похибок складання;
 $F_{дин.нап.}$ – зусилля від динамічних навантажень;
 $M_{оп.}$ – момент опору від динамічних навантажень.

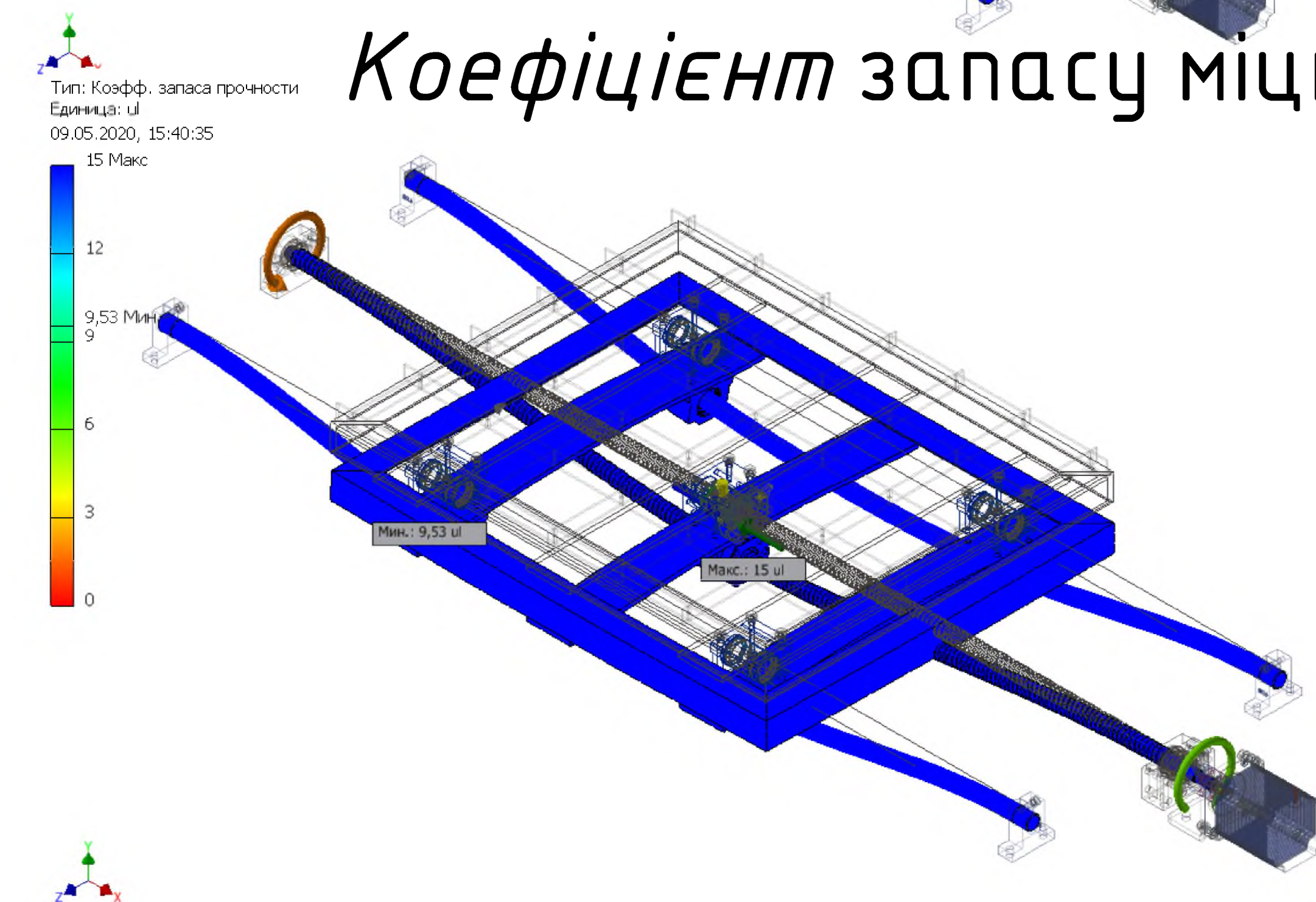
Зміщення



Напруження по Мізесу



Коефіцієнт запасу міцності



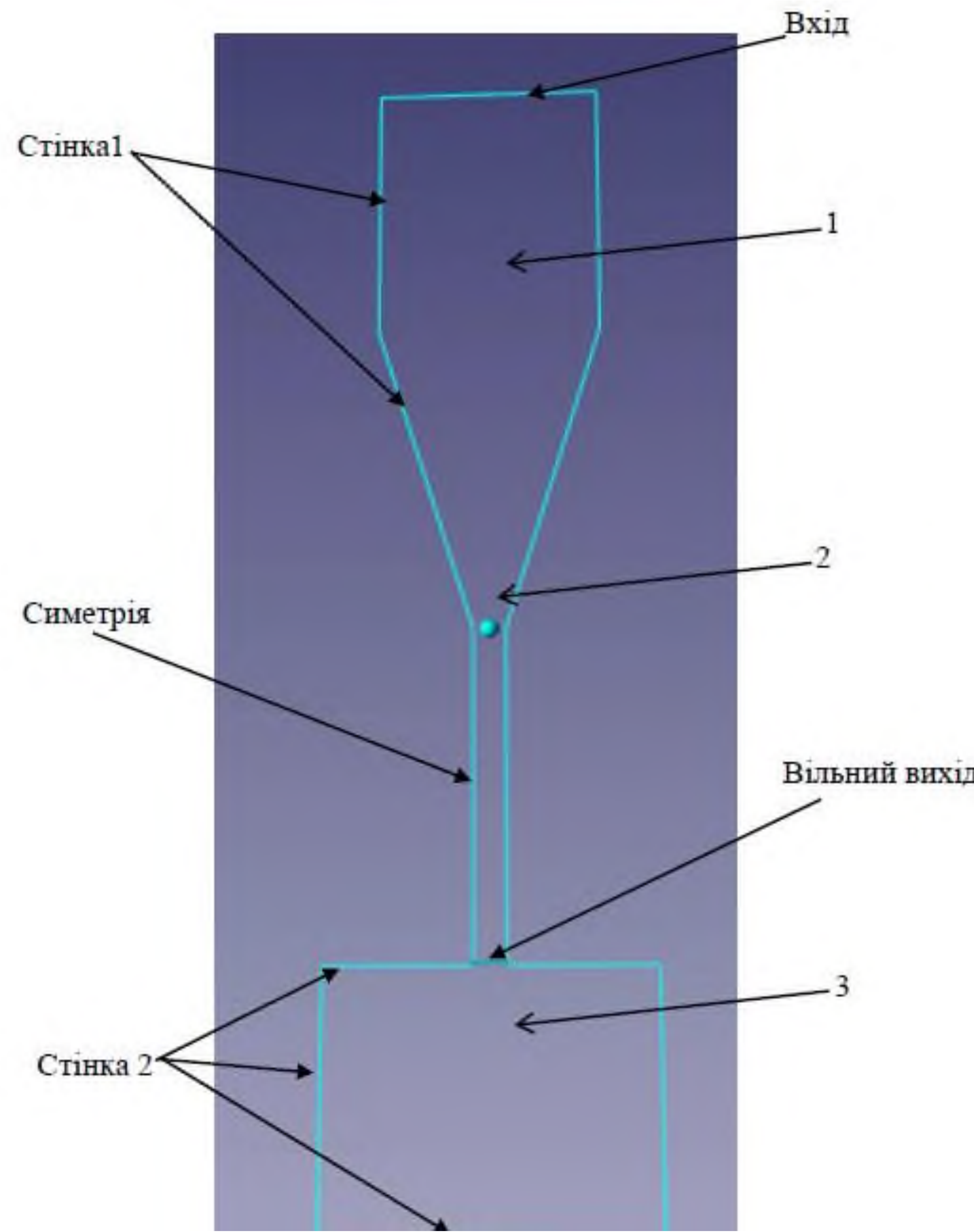
Мінімальний коефіцієнт запасу міцності $k_{зап} = 9,53 \geq [k_{зап}] = 1,3$.
Міцність робочого столу забезпечена.

* Деталі мають матеріал, що рекомендується нормативними документами та у відповідності до їх призначення та умов експлуатації.

Розробник студент гр.МВ-81мн Галкін О.О. _____
Керівник д.т.н., професор Саленко О.Ф. _____

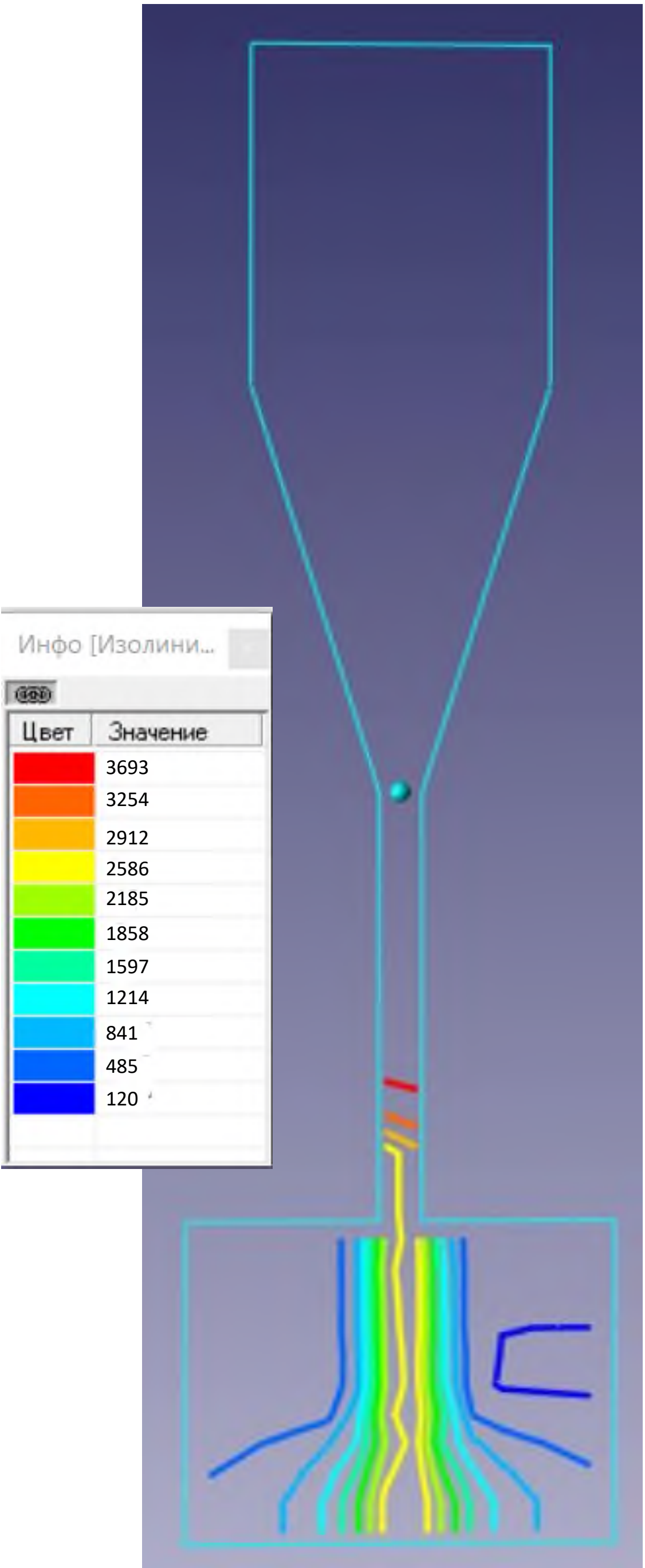
Моделювання температурних полів при дії струминно-лазерного потоку на оброблювану поверхню за допомогою ПК FlowVision 2.5.4

Граничні умови струменево-лазерного потоку



1 – течія в соплі;
2 – вільний потік;
3 – оброблюваний матеріал

Розрахунок температур



Розрахунок поширення потоку теплоти

